Journal of Agricultural Machinery

Homepage: https://jame.um.ac.ir

Research Article
Vol. 14, No. 4, 2024, p. 367-387

Economic Evaluation of the Environmental Impacts of Juice Production: A Case Study of Pomegranate Juice

L. Behrooznia[1], M. Khojastehpour[2*], H. Hosseinzadeh-Bandbafha[3]

1- PhD Student, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
2- Professor, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
3- Department of Agricultural Machinery Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
(*- Corresponding Author Email: mkhpour@um.ac.ir)

Received: 31 May 2023 Revised: 19 July 2023 Accepted: 29 July 2023 Available Online: 20 October 2024	**How to cite this article:** Behrooznia, L., Khojastehpour, M., & Hosseinzadeh-Bandbafha, H. (2024). Economic Evaluation of the Environmental Impacts of Juice Production: A Case Study of Pomegranate Juice. *Journal of Agricultural Machinery*, *14*(4), 367-387. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jam.2023.82678.1170

Introduction

Pomegranate has gained global popularity due to its high vitamin content and antioxidant properties, attracting fans worldwide. The processing of pomegranate into various products, including pomegranate juice, has become a thriving industry. However, this processing requires significant energy and chemicals—most of which are derived from fossil fuels. The combustion of these fuels releases harmful gases, contributing to global warming, environmental damage, and health risks. The costs tied to these environmental burdens are often overlooked, neglecting the principles of environmental sustainability. Therefore, it is vital to assess the monetary value of the environmental impacts throughout the entire life cycle of pomegranate juice production. This research aims to investigate the costs imposed on society, including the social costs of carbon emissions, damage costs from air pollution, and costs associated with environmental prevention measures related to processing pomegranate juice. Feel free to ask for further changes or adjustments.

Materials and Methods

This study focuses on assessing the environmental impact and associated costs generated during the processing of pomegranate juice in Mashhad, Iran, from 2022 to 2023. The research examines the case study of Saman Bazar Razavi Co. to conduct an environmental impact cost assessment. The study begins by evaluating the environmental impacts associated with the pomegranate juice production process using a life cycle assessment (LCA) approach. The costs related to these impacts are then estimated by multiplying the impact amounts with predetermined monetary coefficients. The study adopts a system boundary that extends from the arrival of the fruit at the factory to the departure of the packaged juice, defining a 160g pack of pomegranate juice as the functional unit (FU). SimaPro software, version 9, is utilized for analyzing the environmental impacts. The evaluation of environmental impact costs encompasses three categories: social costs of carbon emissions, damage costs from air pollution, and costs for environmental prevention measures. Carbon dioxide emissions are considered to assess social costs, while five other gases—nitrogen oxides, particulate matter, sulfur dioxide, volatile organic compounds, and ammonia vapor—are included in investigating air pollution damage costs. Furthermore, the calculation of environmental prevention costs takes into account seven impact categories: global warming, photochemical oxidation, respiratory inorganic effects, human toxicity, ecotoxicity, eutrophication, and acidification.

https://doi.org/10.22067/jam.2023.82678.1170

Results and Discussion

Here's the edited text with corrections marked: The investigation reveals that the production of pomegranate juice emits approximately 0.12 kg CO_2 eq of carbon, with a social cost of $0.0062 per functional unit. The primary contributors to carbon emissions are natural gas and electricity. Furthermore, the evaluation of air-polluting gases indicates a total cost of $0.021 for air pollution damage. Among the five considered gases, ammonia vapor, sulfur dioxide, and nitrogen oxides incur the highest damage costs. The assessment of environmental prevention costs demonstrates a total calculated cost of $0.026, with the impact categories of global warming and acidification making the most substantial contributions of 59% and 28%, respectively. This finding suggests that the majority of costs for preventing damage in pomegranate juice production should be focused on mitigating the effects of global warming. The consumption of natural gas and electricity during the pomegranate juice production process is the main source of carbon dioxide emissions and global warming. Additionally, in terms of acidification, the contributions of pomegranate, electricity, apple, natural gas, and sugar are noteworthy. Based on these findings, it is evident that the resources used in pomegranate juice processing, derived from fossil fuels, have the most significant impact on environmental damage. Therefore, one practical method to prevent the creation of these pollutants is the utilization of alternative bioproducts produced from biomass. Considering the substantial amount of pomegranate waste generated after juice processing,which is often not utilized; these wastes can be effectively employed to produce bioenergy, such as biogas. This approach not only prevents waste disposal but also offers economic and environmental benefits.

Conclusion

This article provides an overview of the environmental impacts and associated costs of pomegranate juice production in Mashhad. Using the life cycle assessment approach, the study calculates the environmental impacts per functional unit (a 160g juice pack) and estimates the corresponding costs. The results indicate that the social cost of carbon emissions, the total damage costs of air pollution, and the total environmental prevention costs per functional unit are $0.0062, $0.021, and $0.026, respectively. These costs should be allocated to mitigating the environmental damage caused by pomegranate juice production in the region.

Acknowledgments

The authors express their gratitude to Ferdowsi University of Mashhad for funding this research (Grant No. 54189).

Keywords: Environmental costs, Environmental impact, Life cycle assessment, Pomegranate juice

نشریه ماشین‌های کشاورزی
https://jame.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۱۴، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۳، ص ۳۸۷-۳۶۷

بررسی اقتصادی پیامدهای زیست‌محیطی تولید آب‌میوه: مطالعه موردی آب انار

لیلا بهروزنیا[1]، مهدی خجسته‌پور[2*]، هما حسین‌زاده بندبافها[3]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۰۷

چکیده

بارهای زیست‌محیطی ناشی از تولید و خدمات مختلف به‌نوبه خود منجر به بروز هزینه‌هایی می‌شوند که اگرچه در حسابداری‌ها مورد توجه قرار نمی‌گیرند، به جامعه تحمیل شده و اصول توسعه پایدار در تولید و خدمات را به چالش می‌کشند. با توجه به این حقیقت، هدف از پژوهش حاضر بررسی هزینه‌های تحمیل‌شده ناشی از بارهای زیست‌محیطی در چرخه زندگی تولید آب‌میوه انار است. هزینه‌های مورد بررسی در این پژوهش، هزینه‌های اجتماعی نشر کربن، هزینه خسارت به کیفیت هوا و هزینه‌های پیش‌گیرانه زیست‌محیطی در نظر گرفته شده‌اند. در این راستا، شرکت سامان بازار رضوی در مشهد به‌عنوان مطالعه موردی انتخاب و بارهای زیست‌محیطی مربوط به تولید آب‌میوه انار، با استفاده از رویکرد ارزیابی چرخه زندگی محاسبه شد. متعاقباً هزینه‌های ناشی از بارهای زیست‌محیطی تولید آب‌میوه انار مورد بررسی قرار گرفت. نتایج میزان هزینه اجتماعی نشر کربن، هزینه کل خسارت به هوا و هزینه‌های پیش‌گیرانه زیست‌محیطی به ازای تولید آب‌میوه پاکتی ۱۶۰ گرمی را به‌ترتیب برابر ۰/۰۰۶۲، ۰/۰۲۱ و ۰/۰۲۶ دلار نشان داد. این پژوهش مهم‌ترین عوامل مؤثر بر ایجاد هزینه‌های مربوط به بارهای زیست‌محیطی ناشی از تولید آب‌میوه انار را گاز طبیعی و الکتریسیته معرفی و توصیه به استفاده از جایگزین‌های پایدارتری برای این نهاده‌ها نمود.

واژه‌های کلیدی: آب انار، ارزیابی چرخه زندگی، اثرهای زیست‌محیطی، هزینه‌های زیست‌محیطی

مقدمه

مصرف میوه‌ها و سبزیجات، به دلیل داشتن کسر بالایی از فیبر و ویتامین‌ها و فعالیت آنتی‌اکسیدانی ترکیبات فعال زیستی، نقش تغذیه‌ای مهمی برای سلامت انسان ایفا می‌کنند (Li *et al.*, 2021; Pinto *et al.*, 2022). از بین میوه‌های مختلف تولیدشده در سراسر جهان، انار به دلیل داشتن مقدار قابل‌توجهی از مواد مغذی، معدنی و ویتامین‌ها و همچنین خواص دارویی شگفت‌آور به‌منظور حفظ و نگهداری سلامت انسان مانند خواص آنتی‌اکسیدانی، ضدالتهابی و ضد توموری، توجه زیادی را به خود جلب کرده‌است (Lavoro *et al.*, 2021; Melgarejo, Núñez-Gómez, Legua, Martínez-Nicolás, & Almansa, 2020; Singh *et al.*, 2020). به‌رغم استقبال گسترده از انار به‌عنوان یک میوه فوق‌العاده با خواص پزشکی متعدد در دنیا، امکان تولید آن برخلاف بسیاری از میوه‌ها در همه نوع اقلیمی ممکن نیست. باوجود پیشرفت‌های مختلف در جهت نگهداری میوه تازه، امکان ذخیره‌سازی و صادرات انار تازه در حجم وسیع با مشکلات و چالش‌های زیادی روبه‌رو است. این در حالی است که انار می‌تواند به‌صورت‌های مختلف فرآری و در اختیار مصرف‌کنندگان بی‌شماری در سراسر جهان قرار گیرد. بدین سبب، تقاضای جهانی برای محصولات فرآوری‌شده از انار در دهه‌های گذشته روند رو به رشدی را به خود اختصاص داده‌اند. همگام با این افزایش، صنایع تبدیلی متعدد برای فرآوری انار به انواع محصولات مختلف مانند آب انار گسترش یافته و از این طریق امکان مصرف انار فرآوری‌شده در همه نقاط فراهم شده است (Talekar, Patti, Vijayraghavan, & Arora, 2018).

علی‌رغم مزایای قابل‌توجه فرآوری انار، این بخش همچون دیگر بخش‌های کشاورزی و صنایع غذایی، مصرف مقدار قابل‌توجهی انرژی به‌ویژه انرژی فسیلی و مواد شیمیایی را به خود اختصاص داده است. به‌خوبی مستند شده است که احتراق سوخت‌های فسیلی به

۱- دانشجوی دکتری، مهندسی مکانیزاسیون، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۲- استاد، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۳- گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: mkhpour@um.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/jam.2023.82678.1170

دلیل نشر گازهای گل‌خانه‌ای مشارکت قابل‌توجهی در پدیده گرمایش جهانی و همچنین آسیب‌های غیرقابل‌انکار و تهدیدکننده ناشی از تغییر اقلیم بویژه در رابطه با سلامت انسان و تخریب زیست‌بوم دارد (Papong, Rewlay-ngoen, Itsubo, & Malakul, 2017). از سوی دیگر، به‌منظور تولید و پردازش مواد شیمیایی و نهاده‌های مختلف استفاده‌شده در فرآوری انار، مقادیر قابل‌توجهی نهاده و حامل‌های انرژی مصرف می‌شوند که به‌نوبه خود، بارهای زیست‌محیطی قابل‌توجهی را به دنبال دارند. این در حالی است که با توجه به اصول توسعه پایدار، هر فعالیت تولیدی و خدماتی باید به محدودیت‌هایی در خصوص پایداری اجتماعی، حفاظت از زیست‌بوم، شکوفایی اقتصادی، حفظ سلامت انسان و پایداری زیست‌محیطی ازنظر حفظ هوا، خاک و آب پایبند باشد (El Barnossi, Moussaid, & Iraqi Housseini, 2021; Gigliotti, Schmidt-Traub, & Bastianoni, 2019). به‌عبارتی، هر فعالیت تولیدی یا خدماتی بایستی به تلفیقی از بخش‌های اثرگذار بر توسعه پایدار توجه کند. این در حالی است که اکثر فعالیت‌های اقتصادی صرفاً بر پایداری اقتصادی یعنی تلاش برای دست‌یابی به درآمد بالاتر متمرکز هستند. این در حالی است که چالش‌های زیست‌محیطی نه‌تنها منجر به بروز پدیده‌های جبران‌ناپذیری مانند گرمایش‌جهانی می‌شوند بلکه متعاقباً این پدیده‌ها هزینه‌هایی را برای جهان به دنبال دارند که بسیار قابل‌توجه هستند. درحالی‌که موضوع هزینه‌های پنهان شامل هزینه‌های ایجادشده به‌واسطه بارهای زیست‌محیطی انتشاریافته مورد توجه قرار نمی‌گیرد، این هزینه‌ها آثار جانبی منفی هر فعالیت و خدمات اقتصادی را بیان می‌کنند که در هزینه‌های خصوصی آن‌ها لحاظ نشده است، ولی در غالب آسیب به سلامت انسان و محیط‌زیست به جامعه تحمیل می‌شود (Landgraf, Zeiner, Knabl, & Corman, 2022). به‌عبارتی، اگرچه این هزینه‌ها در قیمت بازار کالاها یا خدمات مصرفی که باعث آلودگی هوا می‌شوند، محاسبه نمی‌شوند، ولی مطابق با اصول توسعه پایدار مبنی بر ضرورت مناسب بودن یک سامانه تولیدی یا خدماتی از نظر زیست‌محیطی، می‌توان با محاسبه این هزینه‌ها، اقدامات لازم را جهت کاهش پیامدهای ناشی از عوامل آلوده‌کننده انجام داد. ازاین‌رو، علاوه بر آشکار کردن عوامل مؤثر در آلودگی محیط‌زیست و عوامل نگران‌کننده برای سلامت عمومی و زیست‌بوم، ارزیابی پولی پیامدهای زیست‌محیطی در طول چرخه حیات محصول تولیدی یا خدمات امری ضروری است.

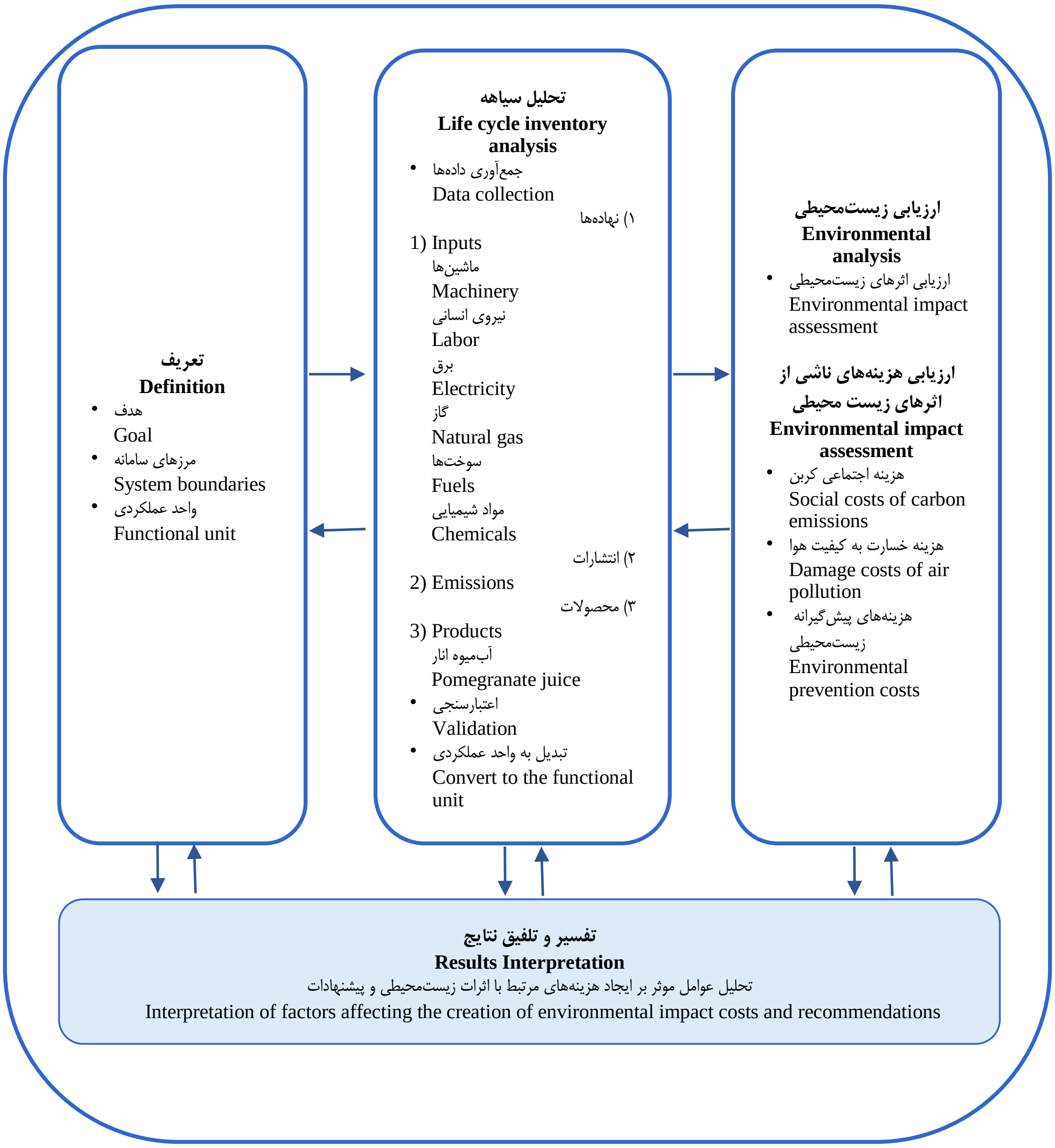
گرچه تاکنون پژوهش‌های گسترده‌ای به‌منظور ارزیابی بارهای زیست‌محیطی ناشی از تولید کالا و خدمات در بخش کشاورزی و صنایع غذایی و سایر بخش‌های تولیدی و خدماتی انجام شده است (Chen, Pinar, & Stengos, 2022; Fathollahi, Mousavi-Avval, Akram, & Rafiee, 2018; Ghasemi-Mobtaker, Kaab, & Rafiee, 2020; Khezri *et al.*, 2022; Longo, Mistretta, Guarino, & Cellura, 2017; Zarei, Kazemi, & Marzban, 2019)، مطالعات محدودی به ارزیابی هزینه‌های ناشی از بارهای زیست‌محیطی فرآیند تولیدی و خدماتی پرداخته‌اند. به‌عنوان‌مثال، در پژوهشی جالب، دانشمندان چینی به ارزیابی هزینه‌های زیست‌محیطی رسوب اسید در صنایع کشاورزی، جنگل‌داری، ساخت‌وساز و حمل‌ونقل پرداخته‌اند و به‌ضرورت انجام مطالعات مبنی بر بررسی هزینه‌های زیست‌محیطی فرآیندهای مختلف، جهت دستیابی به اهداف توسعه پایدار تأکید کرده‌اند (Zhang *et al.*, 2023). علاوه بر این، در پژوهشی که به‌منظور ارزیابی چرخه زندگی و هزینه‌های پیش‌گیرانه زیست‌محیطی برای یک کارخانه اکریلونیتریل، به دلیل افزایش ظرفیت تولید، انجام شد، به اهمیت ارزیابی هزینه‌های زیست‌محیطی به‌عنوان بخشی از شاخص‌های مالی یک پروژه جهت پایدار بودن ازنظر شرایط زیست‌محیطی اشاره شده است (Morales-Mora, Rosa-Dominguez, Suppen-Reynaga, & Martinez-Delgadillo, 2012). در پژوهشی دیگر، به ارزیابی اثرهای زیست‌محیطی و هزینه‌های ناشی از این اثرهای مرتبط با تولید و تأمین زیرساخت‌های راه‌آهن پرداخته شده است. به‌طوری‌که در این تحقیق ابتدا اثرهای زیست‌محیطی ارزیابی شده است و سپس هزینه‌های زیست‌محیطی این اثرها مورد محاسبه قرار گرفته است (Landgraf *et al.*, 2022). علاوه‌براین، در پژوهشی که اخیراً توسط محققان ایرانی در جهت ارزیابی هزینه‌های زیست‌محیطی پروژه‌های معدنی انجام شده است، به‌ضرورت گنجاندن هزینه‌های زیست‌محیطی در مطالعات اشاره شده است (Badakhshan, Shahriar, Afraei, & Bakhtavar, 2023).

در این راستا و با توجه به موارد ذکرشده و همچنین اهمیت مباحث مرتبط با پایداری در هر فرآیند تولیدی و خدماتی و با توجه به اهمیت فرآوری میوه انار و جایگاه ویژه آن در صنایع تبدیلی ایران، بررسی هزینه‌های ناشی از اثرهای زیست‌محیطی ایجادشده در اثر تولید آب‌میوه انار ضروری به نظر می‌رسد. در راستای این مهم، در این پژوهش سعی بر آن است که در ابتدا بارهای زیست‌محیطی فرآیند تولید آب‌میوه انار در طی مراحل مختلف چرخه زندگی آن براساس رویکرد ارزیابی چرخه زندگی[1] مورد محاسبه قرار گیرد و سپس میزان هزینه‌های ناشی از این بارها با استفاده روابط موجود مورد محاسبه قرار گیرد. پژوهش حاضر نخستین مطالعه موردی در راستای برآورد هزینه‌های زیست‌محیطی ناشی از تولید و فرآوری انار در ایران است. بنابراین، از مزیت‌های مهم این پژوهش می‌توان به شناسایی مهم‌ترین عوامل مؤثر بر ایجاد هزینه‌های مربوط به اثرات نامطلوب زیست‌محیطی برای فرآیند تولید آب‌میوه انار اشاره کرد.

1- Life Cycle Assessment

مواد و روش‌ها

این پژوهش با هدف ارزیابی هزینه‌های ناشی از اثرهای زیست‌محیطی ایجادشده طی فرآیند تولید آب‌میوه انار، در سال‌های ۱۴۰۱-۱۴۰۲ انجام شده است. در این بخش روش تولید آب‌میوه انار در صنعت تولید آب‌میوه، روش تحلیل داده‌ها، نحوه ارزیابی هزینه‌های ناشی از اثرهای زیست‌محیطی بیان شده است. به‌طورکلی، برای انجام مطالعه ارزیابی هزینه‌های ناشی از اثرهای زیست‌محیطی، در مرحله اول نیاز به ارزیابی اثرهای انتشاریافته از فرآیند تولید آب‌میوه با استفاده از رویکرد ارزیابی چرخه زندگی است و سپس هزینه‌های زیست‌محیطی مرتبط با آن اثرها بر اساس روابط و ضریب‌های تعیین‌شده برآورد می‌شود. مراحل انجام این پژوهش و ورودی‌ها، خروجی‌ها و تعاملات بین هر مرحله ارزیابی در شکل ۱ ارائه شده است.



شکل ۱- چارچوب کلی برای ارزیابی اثرهای زیست‌محیطی و هزینه‌های ناشی از آن اثرهای زیست‌محیطی طبق استاندارد ایزو ۱۴۰۴۰

Fig.1. General framework for evaluating the environmental impacts and the costs resulting from those impacts according to ISO 14040

مطالعه موردی

استان خراسان رضوی، با تولید بیش از ۹۷۰ هزار تن محصولات باغی، به‌عنوان یکی از استان‌های دارای رتبه بالای تولیدکننده این محصولات در کشور به شمار می‌آید (SMAJ, 2023). در همین راستا، این استان سهم قابل‌توجهی را در فرآوری محصولات باغی و میوه‌های مختلف در صنایع تبدیلی و تکمیلی دارا است. خراسان رضوی با تولید حدود ۹۰ هزار تن میوه انار در سال، از جایگاه خوبی برای فرآوری آن در کارخانه‌های صنایع تبدیلی و غذایی به‌ویژه شهرستان مشهد برخوردار است. به‌طوری‌که از بین محصولات مختلف فرآوری‌شده، رتبه تولید آب‌میوه انار از دیگر محصولات بالاتر است. در راستای این مهم، به‌منظور انجام این پژوهش، تولید آب‌میوه انار در کارخانه تولید آب‌میوه سامان بازار رضوی شهرستان مشهد مورد مطالعه قرار گرفته است.

به‌طورکلی، برای تهیه آب‌میوه انار، پس از حمل میوه انار به کارخانه، در ابتدا آن در طی فرآیندهای مختلف تبدیل به کنسانتره می‌شود و سپس این کنسانتره برای تولید آب‌میوه به‌کار گرفته می‌شود. در این راستا، جزئیات مراحل تولید کنسانتره و آب‌میوه انار طبق اطلاعات شرکت سامان بازار رضوی در شکل ۲ ارائه شده است. ذکر این مهم ضروری است که بسته‌بندی آب‌میوه انار به‌صورت دوی پک[1] ۱۶۰ گرمی است و در نهایت در بسته‌های کارتنی چهل‌تایی برای فروش بسته‌بندی می‌شوند. علاوه‌براین، در طی فرآوری انار برای تولید آب‌میوه، پسماندی باقی می‌ماند که شامل پوست و دانه انار است و این بخش از چرخه تولید خارج شده و به‌عنوان خوراک دام به فروش می‌رسد.

ارزیابی چرخه زندگی

به‌منظور ارزیابی هزینه‌های زیست‌محیطی ابتدا نیاز به محاسبه و برآورد بارهای زیست‌محیطی هر فرآیند است. رویکردهای مختلفی برای این هدف توسعه داده شده‌اند که یکی از مهم‌ترین آن‌ها بررسی اثرهای زیست‌محیطی براساس رویکرد ارزیابی چرخه زندگی است. این رویکرد با توجه به توانایی بالا در حل مسائل پیچیده و مبهم به‌عنوان یک ابزار قدرتمند برای ارزیابی و کمی کردن پیامدهای زیست‌محیطی مربوط به یک محصول، فرآیند یا خدمات از گهواره تا گور با استفاده از یک رویکرد منسجم، مطرح و توسعه داده‌شده است (ISO, 2006). مطالعه ارزیابی چرخه زندگی برای بررسی تولید آب‌میوه انار در این تحقیق بر اساس ایزو ۱۴۰۴۰ استاندارد شده و همچنین برای تجزیه‌وتحلیل اثرهای زیست‌محیطی مرتبط با تولید آب‌میوه از نرم‌افزار سیماپرو[2] استفاده شده است. بر اساس این استاندارد، ارزیابی چرخه زندگی دارای چهار مرحله الزامی شامل (۱) تعریف هدف و دامنه، (۲) تحلیل سیاهه، (۳) ارزیابی اثرهای چرخه زندگی و (۴) تفسیر و تلفیق نتایج است که برای انجام تحقیق در این مطالعه به‌کار گرفته شده‌اند.

تعریف هدف و دامنه

در این مرحله چارچوب کلی کار مشخص می‌شود که شامل: تعریف هدف از انجام این بررسی، تعیین واحدهای عملکردی (کارکردی) و مرزهای سامانه است. به‌طوری‌که هدف اولیه از این تحقیق شامل ارزیابی اثرهای زیست‌محیطی بالقوه تولید آب‌میوه انار است و هدف اصلی ارزیابی هزینه‌های ناشی از آن اثرهای زیست‌محیطی ایجادشده برای سامانه تولید آب‌میوه انار است. علاوه‌براین، ازآن‌جایی‌که مطالعه موردی در این پژوهش کارخانه تولید آب‌میوه است و محصول آب‌میوه این شرکت در بسته‌های پاکتی دوی پک ۱۶۰ گرمی بسته‌بندی می‌شود، واحد عملکردی در نظر گرفته‌شده، تولید آب‌میوه ۱۶۰ گرمی پاکتی به‌صورت دوی پک است. بدین معنی که تمام اثرهای زیست‌محیطی و هزینه‌های ناشی از اثرهای زیست‌محیطی بر مبنای تولید ۱۶۰ گرم آب‌میوه انار بسته‌بندی‌شده محاسبه شده است. در این پژوهش مرز سامانه محدود به تولید انار در باغ، فرآوری انار در کارخانه و در نهایت بسته‌بندی آب‌میوه است (شکل ۳).

تحلیل سیاهه چرخه زندگی

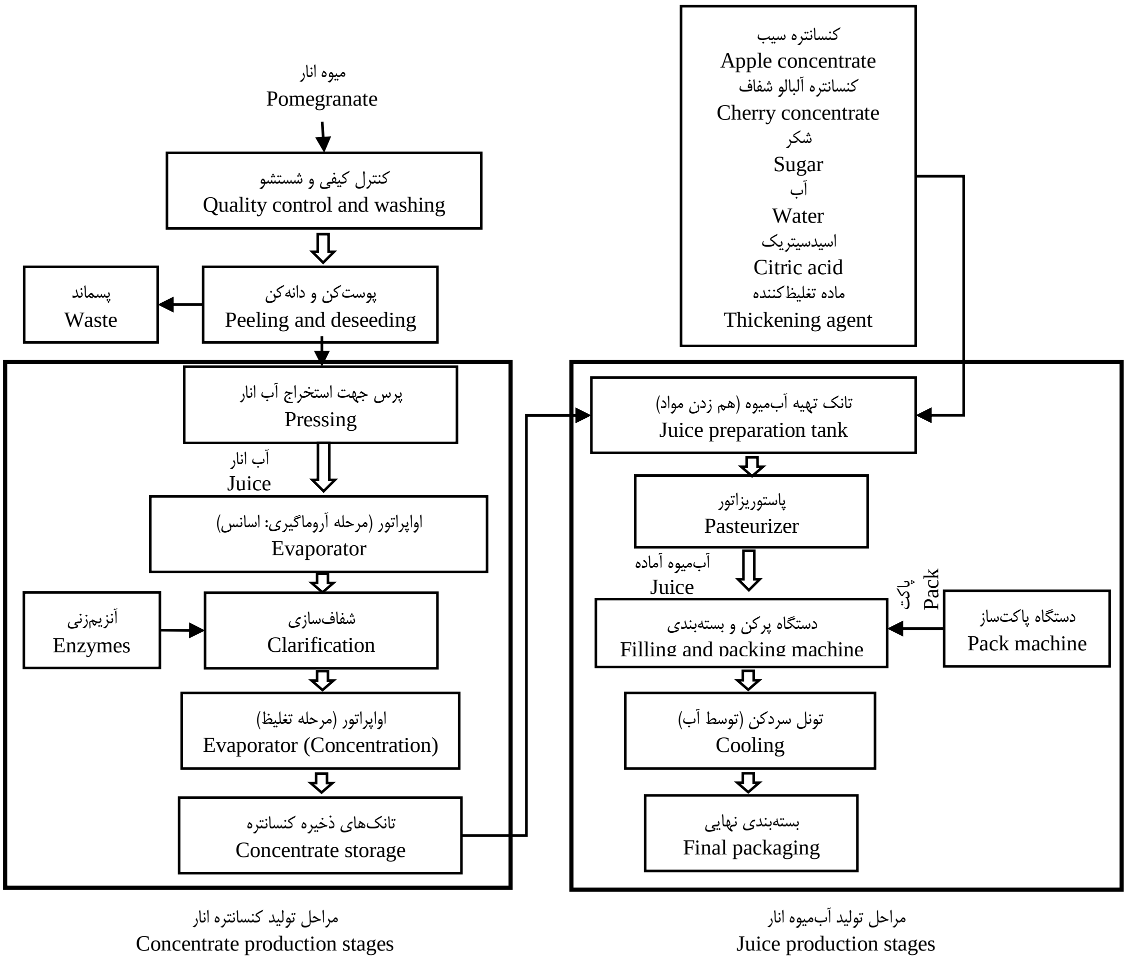
داده‌های موردنیاز برای تکمیل تحلیل سیاهه جهت محاسبه پارامترهای زیست‌محیطی در این تحقیق شامل دو مجموعه داده‌های پیش‌زمینه‌ای و داده‌های پس‌زمینه‌ای در تولید محصول آب‌میوه انار است. داده‌های پیش‌زمینه‌ای شامل تمام مقادیر مواد و انرژی مصرفی، ازجمله نهاده‌های موردنیاز به‌عنوان مواد افزودنی جهت تولید آب‌میوه، برق و گاز، ماشین‌ها، نیروی انسانی و سایر و خروجی شامل محصول آب‌میوه انار است. این اطلاعات مربوط به بخش تولید آب‌میوه انار، از شرکت سامان بازار رضوی واقع در مشهد اخذ شده است. علاوه‌براین، داده‌های پس‌زمینه‌ای برای مطالعه ارزیابی چرخه زندگی، شامل داده‌های مرتبط با تولید و پردازش مواد و انرژی و انتشارات ناشی از سوختن گاز و دیگر حامل‌های انرژی است که از پایگاه داده اکواینونت[3] (نسخه ۳،۰) موجود در نرم‌افزار سیماپرو (نسخه ۹) جمع‌آوری شده است. شایان ذکر است داده‌های اولیه مربوط به تولید میوه انار در باغ از مطالعه انجام‌شده توسط اسماعیل‌پور تروجنی و همکاران اخذ و در نرم‌افزار سیماپرو تعریف شده است (Esmaeilpour Troujeni, Emadi, Khojastehpour, & Vahedi, 2014). به‌منظور برآورد انتشارات ناشی از مصرف کودهای

1- Doy-pack

2- SimaPro

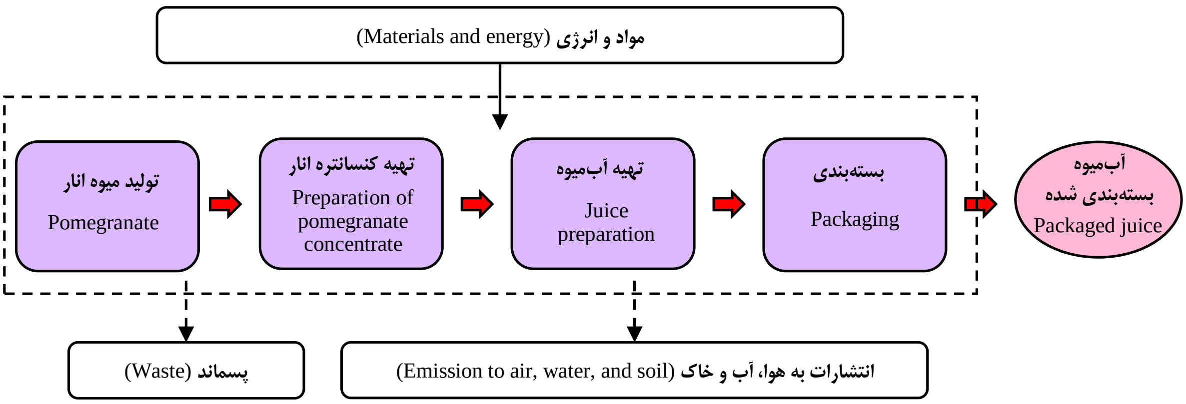
3- Ecoinvent v3.0

شـیمیایی و حیـوانی و همچنـین احتـراق سـوخت دیـزل در ادوات کشاورزی در باغ انـار، از ضـرایب و روابـط موجـود در پـژوهش‌هـا و دسـتورالعمل‌هـای مختلـف اسـتفاده شـده اسـت (IPCC, 2006; Nemecek & Kagi, 2007). لازم به ذکر اسـت تولیـد و انتشـارات ناشی از سوختن بنـزین مصرف‌شـده در بـاغ انـار از بانـک اطلاعـاتی موجود در نرم‌افزار سیماپرو اخذ شده است. اطلاعـات تحلیـل سـیاهه مربوط به ورودی‌ها و محصول تولیدی مورداستفاده در این تحقیـق در جدول ۱ ارائه شده است.



شکل ۲– طرح‌واره مراحل فرآوری آب‌میوه انار در شرکت سامان بازار رضوی واقع در مشهد، ایران

Fig.2. A schematic flow chart of pomegranate juice processing stages in Saman Bazar Razavi Co. located in Mashhad, Iran



شکل ۳– مرز سامانه تولید آب‌میوه انار

Fig.3. System boundary of pomegranate juice production

جدول ۱– موجودی‌های ورودی و محصول مورد استفاده در این مطالعه (واحد عملکردی: یک پاکت آب‌میوه انار ۱۶۰ گرمی)

Table 1- Input inventory and product used in this study (Functional unit (FU): A pomegranate juice pack of 160 g)

تولید آب‌میوه در کارخانه **Juice production in the factory**			تولید انار در باغ **Pomegranate production in the orchard**		
موارد Items	**واحد Unit**	**مقدار Quantity**	**موارد Items**	**واحد Unit**	**مقدار Quantity**
الف) ورودی‌ها A) Inputs			الف) ورودی‌ها A) Inputs		
کنسانتره سیب* Apple concentrate	g	4.11	نیروی انسانی Human labor	hr	3.64E-04
کنسانتره آلبالو * Cherry concentrate	g	0.4	بنزین Gasoline	l	1.11E-05
انار Pomegranate	g	62.68	دیزل Diesel	l	7.31E-05
خاک بنتونیت Bentonite	g	0.14	برق شبکه Electricity	kWh	2.04E-04
خاک پرلیت Perlite	g	0.05	علف‌کش Herbicide	g	1.63E-04
شکر Sugar	g	9.55	حشره‌کش Insecticide	g	5.42E-04
اسیدسیتریک منوهیدراته Citric Acid Monohydrate	g	0.5	قارچ‌کش Fungicides	g	4.33E-04
گاز مایع Liquid gas	MJ	0.02	کود نیتروژن Nitrogen fertilizer	g	2.74E-02
روغن‌موتور Oil	g	3.75E-06	کود فسفر Phosphorus fertilizer	g	2.56E-02
کربن دی‌اکسید Carbon dioxide	g	0.005	کود پتاسیم Potassium fertilizer	g	2.10E-02
سدیم هیدروکسید Sodium hydroxide	g	0.05	کود حیوانی Manure	g	0.76
برق شبکه Electricity	kWh	0.03	آب آبیاری Irrigation water	m^3	7.33E-05
گاز طبیعی Natural gas	MJ	1.19	ب) محصول B. Product		
آب Water	kg	1.04	انار Pomegranate	g	62.68
آنزیم Enzyme	g	0.005	پ) انتشارات C. Emissions		
پاکت آب‌میوه Juice pack	g	5	انتشارات به هوا Emissions to air		
کارتن Packaging carton	g	5	دی‌نیتروپن مونوکسید Dinitrogen monoxide	g	7.61E-04
نی آب‌میوه Straw	g	0.35	آمونیاک Ammonia	g	7.02E-03
نوارچسب Adhesive tape	g	0.12	اکسید نیتروژن Nitrogen oxides	g	1.60E-04
نیروی انسانی Human labor	hr	0.09	گلایفوسیت Glyphosate	g	4.88E-05
ب) محصول B. Product			دلتامترین Deltamethrin	g	1.63E-04
آب‌میوه انار Pomegranate juice	g	160	بنومیل Benomyl	g	1.30E-04
پ) انتشارات C. Emissions			کربن دی‌اکسید Carbon dioxide	g	0.16

انتشارات به آب Emissions to water		
نیترات Nitrate	g	5.66E-02
فسفات Phosphate	g	6.64E-04
کادمیوم Cadmium	g	7.43E-08
مس Copper	g	6.52E-06
زینک Zinc	g	3.74E-05
سرب Lead	g	8.18E-07
کروم Chromium	g	3.89E-05
جیوه Mercury	g	1.14E-09
انتشارات از سوختن گاز طبیعی** Emissions from natural gas burning		
انتشارات از سوختن گاز مایع** Emissions from liquid gas burning		

* در شرکت مورد مطالعه، کنسانتره سیب و آلبالو به‌عنوان افزودنی جهت ارتقای کیفیت (طعم و مزه و رنگ و غیره) در تهیه آب‌میوه انار مورد استفاده قرار می‌گیرد.

* In the studied company, apple and cherry concentrate are used as an additive to improve the quality (taste, color, etc.) in the preparation of pomegranate juice.

** انتشارات مستقیم شامل انتشارات ناشی از سوختن گاز طبیعی و گاز مایع مورد استفاده برای ماشین‌ها می‌باشد که این موارد از بانک اطلاعاتی موجود در نرم‌افزار سیماپرو اخذ شده است.

** Direct emissions include emissions from burning of natural gas and liquid gas used for machinery, which are obtained from the database available in SimaPro software.

ارزیابی اثرهای چرخه زندگی

بر اساس آن‌چه در استاندارد ایزو ۱۴۰۴۰ بیان شده است، ارزیابی اثرهای چرخه زندگی به‌عنوان یک مرحله مهم از مطالعه ارزیابی چرخه زندگی است. در همین راستا، برای ارزیابی اثرهای زیست‌محیطی در این پژوهش برای مدل‌سازی داده‌های محاسبه‌شده مربوط به تولید آب‌میوه انار در مرحله تحلیل سیاهه و تبدیل آن‌ها به رده‌های اثر، از نرم‌افزار سیماپرو، نسخه ۹ استفاده‌شده و برای تحلیل اثرها با توجه به اهداف مرتبط با هر بخش مورد بررسی مربوط به ارزیابی هزینه‌های اثرهای زیست‌محیطی عمل شد.

هزینه‌های ناشی از اثرهای زیست‌محیطی

تجزیه‌وتحلیل هزینه‌های ناشی از اثرات زیست‌محیطی، ابزار مهمی است که برای حمایت از تصمیمات در مورد مدیریت یا تنظیم منابع زیست‌محیطی استفاده می‌شود (McIntosh, & Pontius, 2017). به‌طورکلی، خسارت ناشی از بارهای زیست‌محیطی در هر مرحله از زنجیره تولید محصول/خدمت برحسب پول بیان می‌شود که به آن هزینه‌های زیست‌محیطی مجازی نیز گفته می‌شود. در پژوهش حاضر برخی از مهم‌ترین و شناخته‌شده‌ترین این هزینه‌ها شامل هزینه‌های اجتماعی نشر کربن، هزینه‌های خسارت کیفیت به هوا و هزینه‌های پیش‌گیرانه زیست‌محیطی در فرآیند تولید آب‌میوه انار بررسی و برآورد می‌شود.

هزینه اجتماعی کربن

کربن دی‌اکسید تقریباً ۷۵ درصد از انتشار گازهای گلخانه‌ای منتشرشده توسط انسان در جو را تشکیل که افزایش آن‌ها در جو، منجر به افزایش گرمایش جهانی می‌شود (Khezri *et al*., 2022). در حال حاضر، یکی از عوامل اصلی انتشار کربن دی‌اکسید، مصرف سوخت‌های فسیلی مورد استفاده در تولید انرژی است (Chen *et al*., 2022). به‌طورکلی، با سوزاندن سوخت‌های فسیلی، کربن دی‌اکسید در جو آزاد می‌شود که تقریباً نیمی از این گازهای اضافی توسط زمین و اقیانوس‌ها جذب می‌شود، اما باقی‌مانده در اتمسفر جمع شده و اثر گلخانه‌ای طبیعی را افزایش می‌دهد و باعث ایجاد تغییر اقلیم می‌شود (Dilling *et al*., 2003). در همین راستا، هزینه اجتماعی کربن، تخمینی از هزینه خسارت ناشی از هر تن کربن دی‌اکسید واردشده به جو، به دلار است. در سال‌های اخیر، دانشمندان اقلیم و اقتصاددانان زیادی به بررسی میزان هزینه اجتماعی کربن پرداخته‌اند و مدل‌هایی را جهت پیش‌بینی میزان تأثیر کربن دی‌اکسید انتشاریافته به جو برای شاخص‌هایی همچون شاخص سلامتی انسان، محصولات کشاورزی و ارزش اموال ارائه کرده‌اند. پژوهش‌ها نشان می‌دهند که تجمع قابل‌ملاحظه کربن در جو به دلیل کاهش بیماری‌های مختلف و کاهش طول عمر انسان، آسیب به محصولات زراعی و بالا آمدن سطح دریاها و سایر پیامدهای افزایش دمای کره زمین منجر به هزینه‌های قابل‌ملاحظه‌ای خواهند شد (Awuni *et al*., 2023).

اطلاع از این هزینه برای سیاست‌گذران، مدیران و عموم مردم همانند یک هشدار جدی، آن‌ها را به سمت تلاش گسترده‌تر برای کاهش نشر کربن سوق خواهد داد. ازاین‌رو، پژوهش حاضر به برآورد میزان هزینه اجتماعی ناشی از نشر کربن دی‌اکسید در طول چرخه زندگی تولید آب‌میوه انار پرداخته شده است.

برآوردهای اخیر، متوسط هزینه جهانی اجتماعی کربن را ۵۱ دلار برای هر تن کربن دی‌اکسید تخمین زده‌اند (Rennert *et al*., 2022). جهت برآورد هزینه اجتماعی نشر کربن در این مطالعه، ابتدا میزان کربن دی‌اکسید منتشرشده در طول چرخه زندگی تولید آب‌میوه انار، با استفاده از نرم‌افزار سیماپرو و دستورالعمل IPCC 2013 برآورد شد. لازم به ذکر است استفاده از این دستورالعمل به‌منظور برآورد کربن معادل دلایل مختلف دارد. به‌طورکلی، اجماع علمی در مورد تعیین کربن معادل با استفاده از این دستورالعمل وجود دارد که به هزاران دانشمند از سراسر جهان متکی است که در گزارش‌های آن مشارکت دارند. این دستورالعمل از طریق یک فرآیند بررسی‌شده عمل می‌کند و اطمینان می‌دهد که یافته‌ها جامع و دقیق هستند. ارزیابی کربن براساس این دستورالعمل به‌صورت شفاف و باز انجام شده و توسط کارشناسان و دولت‌ها مورد بازبینی گسترده قرار می‌گیرند تا اطمینان حاصل شود که یافته‌ها قوی و معتبر هستند. همچنین این دستورالعمل معتبرترین و به‌روزترین منابع اطلاعاتی در مورد مسائل مربوط به تغییرات آب و هوا محسوب می‌شود. از سوی دیگر، دستورالعمل ذکرشده در مقیاس جهانی با حضور کارشناسانی از کشورها و مناطق مختلف فعالیت می‌کند. این فراگیری کمک می‌کند تا اطمینان حاصل شود که طیف گسترده‌ای از دیدگاه‌ها و تجربیات در ارزیابی‌های آن در نظر گرفته شود. این دستورالعمل از سیاست‌ها یا اقدامات خاصی حمایت نمی‌کند و تمرکز آن صرفاً بر ارائه اطلاعات عینی و مبتنی بر شواهد به تصمیم‌گیرندگان است. به‌عبارت بهتر، درحالی‌که این دستورالعمل به‌خاطر کمک‌هایش در علم آب و هوا، سیاست‌گذاری و آگاهی عمومی به‌طور گسترده مورد احترام و شناسایی است، باید به خاطر داشت که این روشی برای تعیین سیاست‌ها یا اقدامات خاص نیست. در عوض، به‌عنوان یک سکوی علمی عمل می‌کند که سیاست‌گذاران و مردم را در مورد وضعیت فعلی دانش تغییرات آب و هوا، خطرات بالقوه و پاسخ‌های احتمالی آگاه می‌کند (IPCC, 2006). درنهایت میزان نشر کربن دی‌اکسید به‌دست‌آمده برای سامانه موردبررسی در ضریب ۵۱ دلار برای هر تن کربن دی‌اکسید ضرب شده و هزینه نهایی نشر کربن دی‌اکسید به‌دست آمد.

هزینه خسارت به کیفیت هوا

در این پژوهش، هزینه خسارت به‌عنوان هزینه‌ای که بر اثر پیامدهای آلودگی هوا ایجاد شده است، برای سامانه تولید آب‌میوه انار موردبررسی قرار گرفته است. به‌طورکلی، این هزینه ترکیبی از هزینه آلودگی هوا توسط پنج گاز شامل اکسیدهای نیتروژن، ذرات معلق، گوگرد دی‌اکسید، ترکیبات آلی فرار و بخار آمونیاک است (Defra, 2019). بر اساس برآوردهایی که از میزان خسارت ناشی از این گازها شده است، هزینه‌های در نظر گرفته‌شده به‌ازای هر تن گاز در منابع مختلف گزارش شده است که میانگین جهانی این هزینه‌ها در جدول ۲ ارائه شده‌اند.

جدول ۲- میانگین جهانی هزینه خسارت ناشی از آلودگی هوا

Table 2- Average global cost of damage caused by air pollution (Defra, 2019)

گازها Gases	میزان هزینه (دلار برای هر تن) Cost ($ ton^{-1})
اکسیدهای نیتروژن Nitrogen oxide	6830
ذرات معلق Particulate matter	6911
گوگرد دی‌اکسید Sulfur dioxide	6661
ترکیبات آلی فرار Volatile organic compounds	112
بخار آمونیاک Ammonia vapor	116610

برای محاسبه هزینه‌های ناشی از گازهای خسارت‌دهنده به کیفیت هوا در این پژوهش، در ابتدا میزان انتشار این گازها در تولید آب‌میوه انار در دو بخش فعالیت‌های پیش‌زمینه و پس‌زمینه برآورد شده است. به‌منظور برآورد نشر گازها در فعالیت‌های پیش‌زمینه‌ای به دلیل گستردگی مواد و انرژی‌های مورد استفاده در تولید انار و فرآوری آن به‌صورت آب‌میوه و فقدان اطلاعات جامع و قابل‌استناد، از پایگاه

داده اکواینونت استفاده شده است. به‌منظور برآورد نشر گازهای ذکرشده در فعالیت‌های پس‌زمینه‌ای، انتشار اکسیدهای نیتروژن در تولید انار در باغ ناشی از مصرف کودهای شیمیایی و همچنین احتراق سوخت دیزل در ادوات کشاورزی با استفاده از روابط موجود در ادبیات برآورد شده است (IPCC, 2006; Nemecek & Kagi, 2007). همچنین نشر آمونیاک ناشی از کاربرد کودهای حاوی نیتروژن در باغ انار براساس روابط موجود محاسبه شده است (IPCC, 2006; Nemecek & Kagi, 2007). ذرات معلق، گوگرد دی‌اکسید و همچنین ترکیبات آلی فرار به‌طور مستقیم از احتراق سوخت دیزل و گاز طبیعی طی فرآوری انار وارد جو شده‌اند که براساس اطلاعات موجود در پایگاه داده مربوط به احتراق سوخت‌های فسیلی موجود در نرم‌افزار سیماپرو برآورد شده است. درنهایت مقادیر مربوط به انتشار این گازهای مورد بررسی در معادل هزینه آن ضرب شده و مورد ارزیابی قرار گرفت.

هزینه‌های پیش‌گیرانه زیست‌محیطی

هزینه‌های پیش‌گیرانه زیست‌محیطی، هزینه‌هایی هستند که باید برای کاهش آلودگی محیط‌زیست و از بین رفتن منابع ناشی از تولید هر محصول/خدمت صرف برنامه‌های زیست‌محیطی شوند تا با ظرفیت زمین مطابقت داشته باشد (Vogtlander, 2010). به‌عبارتی‌دیگر، هزینه‌های پیش‌گیرانه زیست‌محیطی یک شاخص بر اساس ارزیابی چرخه زندگی است و بار زیست‌محیطی را بر اساس جلوگیری یا کاهش از آن بار توصیف می‌کند (Čuček, Klemeš, & Kravanja, 2015). به‌عنوان‌مثال، برای نشر هر تن کربن دی‌اکسید معادل، باید در حدود ۱۳۰ دلار در زمینه‌هایی که منجر به کاهش نشر کربن دی‌اکسید می‌شود، سرمایه‌گذاری شود (Ecocostsvalue, 2022). به‌طورکلی، اثر کل اقدامات پیش‌گیری بر جامعه این است که بدون صرف هزینه‌های اضافی باعث می‌شود محیط بهتری برای زندگی انسان و سایر موجودات حاصل شود.

درحالی‌که منابع مختلف از اهمیت در نظر گرفتن هزینه‌های پیش‌گیرانه زیست‌محیطی بحث می‌کنند، اما این هزینه‌ها، هزینه‌های مجازی یا از نوع هزینه‌های غیرمستقیم هستند، زیرا هنوز در هزینه‌های واقعی زنجیره‌های تولید فعلی (هزینه‌های چرخه زندگی) ادغام نشده‌اند (Čuček *et al.*, 2015)؛ اما با توجه به اهمیت آن، لازم است که این هزینه‌ها به‌عنوان تعهد پنهان تولید یک محصول/خدمت در نظر گرفته شود (Vogtländer, Bijma, & Brezet, 2002). جهت بررسی و محاسبه هزینه‌های پیش‌گیرانه زیست‌محیطی، هفت رده اثر شامل پتانسیل گرمایش جهانی، پتانسیل مسمومیت انسان‌ها (سرطانی و غیرسرطانی)، مسمومیت زیست‌محیطی، پتانسیل اسیدی شدن، اختناق دریاچه‌ای، ریز گردوغبار و مه دود تابستانی در نظر گرفته می‌شود (Behrooznia, Sharifi, Mousavi-Avval, Hosseinzadeh-Bandbafha, 2019). در این پژوهش نیز بررسی این هزینه‌ها برای تولید آب‌میوه انار در نظر گرفته شده‌اند. لازم به ذکر است که برای برآورد مقدار هر یک از رده‌های اثر ذکرشده به‌ازای واحد عملکردی، بر اساس روش‌های ارائه‌شده در جدول ۳ و با استفاده از نرم‌افزار سیماپرو عمل شده است. اگرچه روش‌های مختلفی برای برآورد اثرهای زیست‌محیطی ارائه شده‌اند، روش‌های مورد استفاده به منظور برآورد اثرهای زیست‌محیطی در این بخش براساس دستورالعمل ارائه شده توسط "Eco Cost Value" انتخاب شده‌اند (Ecocostsvalue, 2022).

جهت برآورد مقدار هزینه پیش‌گیرانه برای هر رده اثر به‌ازای تولید هر واحد آب‌میوه انار در این پژوهش، مقدار هر یک از رده اثرهای برآوردشده، در هزینه معادل آن‌ها که در جدول ۳ ذکرشده است، ضرب گردید. ذکر این نکته دارای اهمیت است که نتایج به‌دست‌آمده برای هر یک از هزینه‌های پیش‌گیرانه زیست‌محیطی فوق‌الذکر در رده میانی، می‌توانند در سه گروه جداگانه "رده پایانی" ترکیب شوند که این دسته‌بندی نیز در جدول ۳ ارائه شده است.

نتایج و بحث

هزینه اجتماعی نشر کربن

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، مقدار نشر کربن برای تولید آب‌میوه انار به‌ازای واحد عملکردی برابر حدود ۰/۱۲ کیلوگرم است که با ضرب این مقدار در ضریب ۰/۰۵۱ (دلار بر کیلوگرم)، میزان هزینه اجتماعی این مقدار نشر کربن برابر ۰/۰۰۶۲ دلار به ازای واحدی عملکردی محاسبه شده است. به‌طورکلی، این هزینه بیانگر خسارت ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای مانند کربن دی‌اکسید بر تغییرات آب‌وهوایی ازنظر پولی است که برای تدوین سیاست‌های اقلیمی از اهمیت بالایی برخوردار است (Rennert *et al.*, 2022). به‌طوری‌که امروزه سیاست‌های اصلی برای جلوگیری از انتشار کربن، قانون مالیات بر کربن و تجارت است (Rahil, Gammon, Brown, Udie, & Mazhar, 2019). شکل ۴ سهم تأثیر هر یک از نهاده‌های مصرفی برای تولید آب‌میوه انار بر نشر کربن را نشان می‌دهد. همان‌طور که پیداست، گاز طبیعی مصرفی در فرآیند تولید آب‌میوه بیش‌ترین سهم را در ایجاد نشر کربن به جو دارد که همین مورد بیش‌تر از دیگر نهاده‌های مصرفی باعث افزایش هزینه‌های اجتماعی کربن شده است. طبیعی است که با سوختن گاز طبیعی، مقدار قابل‌توجهی گازهای گلخانه‌ای و کربن دی‌اکسید آزاد می‌شود. بنابراین، برای حل این چالش نیاز به استفاده بیش‌تر از سوخت‌های تجدیدپذیر در صنعت غذا و نوشیدنی است (O'Shea, Lin, Wall, Browne, & Murphy, 2020). یافته‌های مشابهی از نقش انتشار

مستقیم ناشی از احتراق گاز طبیعی به‌عنوان تأثیرگذارترین نهاده در افزایش گرمایش جهانی در طول فرآوری آب‌میوه تولیدشده در ایران گزارش شده است (Khanali *et al.*, 2020). علاوه‌براین، بر اساس شکل ۴، الکتریسیته مصرفی مبتنی بر سوخت‌های فسیلی، بعد از گاز طبیعی، دومین سهم را در نشر کربن به خود اختصاص داده است؛ بنابراین می‌توان نقش احتراق سوخت‌های فسیلی را در این موارد تأیید کرد. با احتراق سوخت‌های فسیلی، کربن دی‌اکسید در جو افزایش یافته و اثر تغییر اقلیم و گرم شدن کره زمین اتفاق می‌افتد که همین امر باعث تغییرات قابل‌توجهی در سطح دریاها، زیست‌بوم‌ها، ذوب شدن یخچال‌ها، آتش‌سوزی‌های جنگلی، گسترش احتمالی بیابان‌های نیمه‌گرمسیری، تغییرات در محصول کشاورزی و افزایش بیماری‌ها در انسان‌ها (به دلیل افزایش عوامل بیماری‌زا مثل باکتری‌ها و ویروس‌ها) می‌شود (Staudt, Huddleston, & Kraucunas, 2008; Mora *et al.*, 2018). بر این اساس، اگر هدف کاهش انتشار کربن دی‌اکسید باشد، در گام اول باید میزان مصرف سوخت‌های فسیلی کاهش یابد و با منابع تجدیدپذیر مانند انرژی خورشیدی و هیدروژن و دیگر منابع انرژی زیستی جایگزین شود. علاوه‌براین، استفاده از روش مالیات بر کربن دی‌اکسید برای هر فعالیت اقتصادی، راهی برای کاهش پیامدهای ناشی از نشر کربن است.

جدول ۳- روش محاسبه هر یک از رده‌های اثر در نرم‌افزار سیماپرو و هزینه‌های پیش‌گیرانه زیست‌محیطی معادل آن‌ها *

Table 3- Calculation method of each category in SimaPro software and their equivalent environmental prevention costs*

رده پایانی **End-point category**	**رده اثر میانی** **Mid-point category**	**واحد** **Unit**	**روش محاسبه** **Calculation method**	**هزینه (دلار)** **Cost ($)**
تغییر اقلیم Climate change	گرمایش جهانی Global warming	kg CO_2 eq	IPCC 2013 GWP 100a V1.03	0.128
سلامت انسان Human health	تشکیل اکسیداسیون فتوشیمیایی (مه‌دود تابستانی) Photochemical oxidation	kg NO eq	CML-IA baseline V3.04 / World 2000	9.99
	ریز گرد و غبار Respiratory inorganics	kg PM2.5 eq	IMPACT 2002+ V2.13 / IMPACT 2002+	38.5
	سمیت انسان- سرطان Human toxicity, cancer	CTUh	USEtox Recommended + Interim V1.01	4129.4
	سمیت انسان- غیرسرطانی Human toxicity, non-cancer	CTUh	USEtox Recommended + Interim V1.02	28050
زیست‌بوم Ecosystem	سمیت زیست‌محیطی ** **Ecotoxicity	CTUe	USEtox Recommended + Interim V1.02	374
	یوتریفیکاسیون (اختناق دریاچه‌ای) Eutrophication	kg PO_4 eq	CML-IA baseline V3.04 / World 2000	5.17
	اسیدی شدن Acidification	kg SO_2 eq	CML-IA baseline V3.04 / World 2000	9.63

* اطلاعات مربوط به هزینه پیش‌گیرانه زیست‌محیطی در نظر گرفته شده (۲۰۲۲)، در www.ecocostsvalue.com ارائه شده است.

* Information on estimated environmental prevention costs (2022) is provided at www.ecocostsvalue.com.

** جهت محاسبه میزان هزینه پیش‌گیرانه رده اثر سمیت زیست‌محیطی، رقم هزینه معادل در ضریب $۵/۵۴\times۱۰^{-۵}$ ضرب می‌شود.

** In order to calculate the environmental prevention costs of the Ecotoxicity category, the equivalent cost is multiplied in the factor of 5.54×10^{-5}.

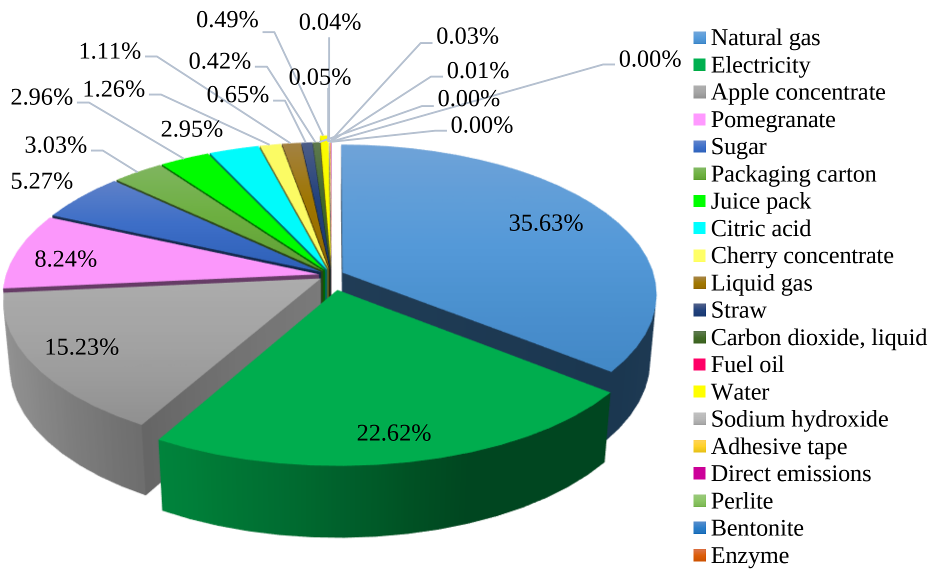
هزینه خسارت به کیفیت هوا

هزینه خسارت به هوا از دیگر هزینه‌های غیرمستقیم موردبررسی در این مطالعه است. بر این اساس، مقدار هرکدام از گازهای تأثیرگذار بر کیفیت هوا به‌ازای هر واحد عملکردی در نظر گرفته‌شده با استفاده از بانک اطلاعاتی اکواینونت موجود در نرم‌افزار سیماپرو و از بخش سیاهه نرم‌افزار به‌دست‌آمد و سپس میزان هزینه خسارت آلودگی هوا مورد ارزیابی قرار گرفت (جدول ۴).

با توجه به جدول ۴، نتایج ارزیابی هزینه کل خسارت آلودگی هوا نشان داد که هزینه کل خسارت آلودگی هوا ناشی از تولید ۱۶۰ گرم آب‌میوه انار برابر ۰/۰۲۱ دلار است. از این مقدار بیش‌ترین سهم در هزینه کل خسارت آلودگی هوا با اختلاف زیاد مربوط به بخار آمونیاک انتشاریافته به هوا است (شکل ۵).

بر همین اساس، با بررسی منشأ این آلودگی بخار آمونیاک که نتیجه آن در شکل ۶ ارائه شده است، می‌توان به این نتیجه رسید که

بیش‌ترین تأثیر بر انتشار آمونیاک را تولید انار، عمدتاً ناشی از کاربرد کودهای دامی، در باغ به همراه داشته است. پیش‌ازاین، خانعلی و همکاران در پژوهشی که برای ارزیابی زیست‌محیطی چرخه زندگی تولید سیب انجام دادند، نشان دادند که مصرف کودهای دامی تأثیر زیادی در انتشار بارهای زیستی در مرحله تولید میوه در باغ دارند (Khanali *et al.*, 2020). میزان بالای این انتشارات می‌تواند به دلیل استفاده از کود دامی به‌صورت آزاد و بدون هیچ عمل‌آوری در باغ باشد، زیرا کود دامی دارای مقدار قابل‌توجهی نیتروژن است که با اضافه کردن مستقیم این کودها به خاک، منجر به تجزیه سریع نیتروژن شده و درنتیجه سبب آزاد شدن آمونیاک می‌شود (Chang, Fabian-Wheeler, Richard, & Hile, 2023). این پدیده نه‌تنها باعث آلودگی جدی زیست‌محیطی می‌شود و پایداری جهانی را به چالش می‌کشد، بلکه منجر به خسارات مالی قابل‌توجهی نیز می‌شود.



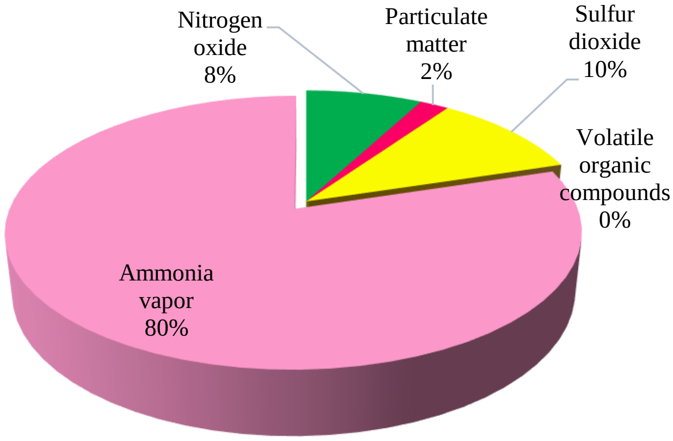
شکل ٤- سهم تأثیر هر یک از نهاده‌های ورودی در نشر کربن (واحد عملکردی: یک پاکت آب‌میوه انار ۱۶۰ گرمی)

Fig.4. Contribution of the impact of each input to carbon emission (FU: A pomegranate juice pack of 160 g)

جدول ٤- میزان گازهای آلوده‌کننده هوا و هزینه خسارت آلودگی هوا (واحد عملکردی: یک پاکت آب‌میوه انار ۱۶۰ گرمی)

Table 4- The amount of air polluting gases and the cost of air pollution damage (FU: A pomegranate juice pack of 160 g)

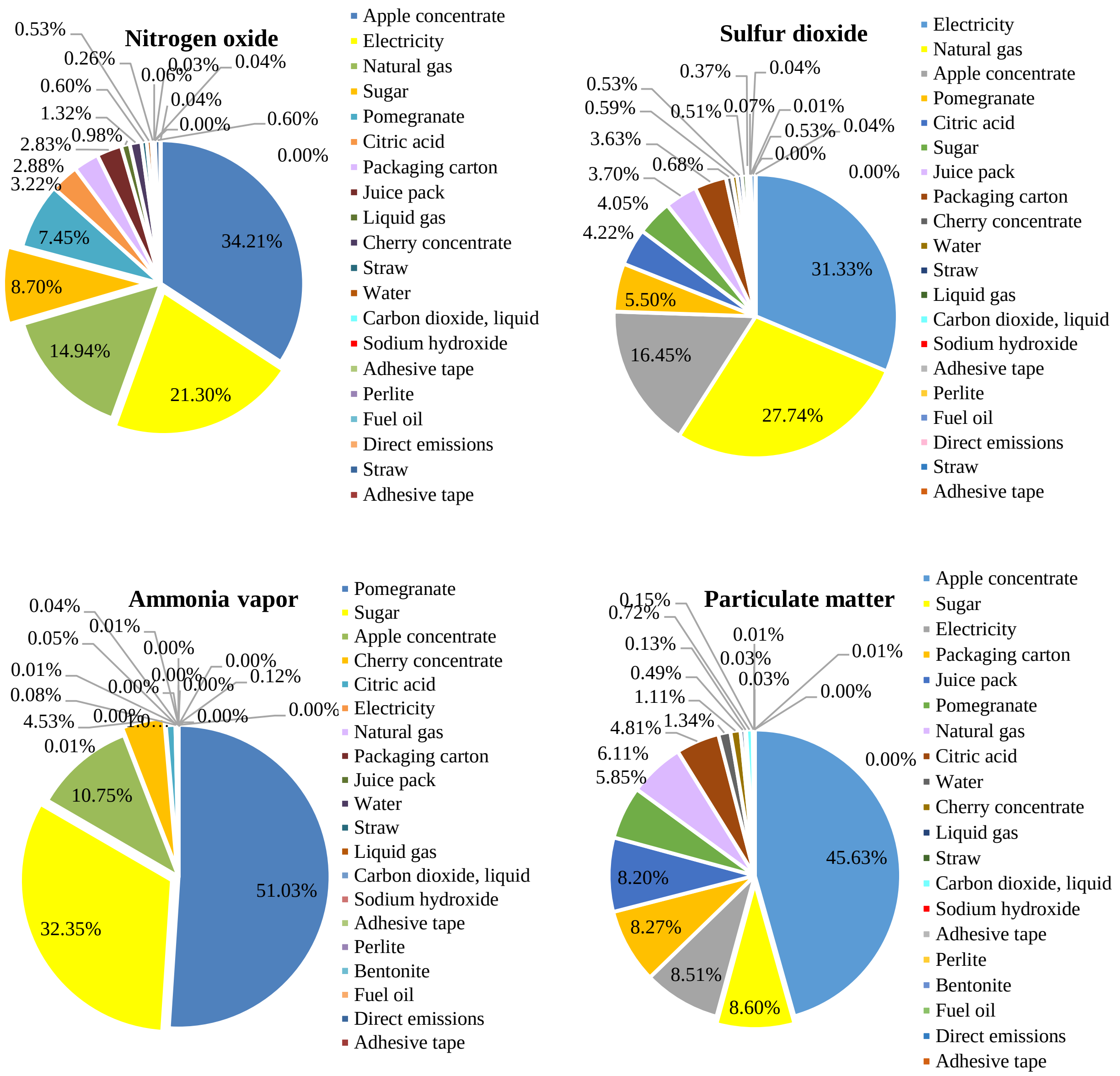
گازهای آلوده‌کننده **Air polluting gases**	مقدار (میلی‌گرم) **Amount (mg)**	هزینه خسارت (دلار) **Damage cost ($)**
نیتروژن اکسید Nitrogen oxide	244.69	1.67E-03
ذرات معلق Particulate matter	59.92	4.14E-04
گوگرد دی‌اکسید Sulfur dioxide	338.53	2.25E-03
ترکیبات آلی فرار Volatile organic compounds	314.43	3.52E-05
بخار آمونیاک Ammonia vapor	146.84	0.017
هزینه کل خسارت آلودگی هوا Total cost of air pollution damage		0.021



شکل ۵- سهم تأثیر هرکدام از گازها در هزینه‌های خسارت به هوا (واحد عملکردی: یک پاکت آب‌میوه انار ۱۶۰ گرمی)

Fig.5. Contribution of the effect of each gas to the cost of air damage (FU: A pomegranate juice pack of 160 g)

از آن‌جایی‌که نیتروژن عامل مهمی در رشد و بهره‌وری محصول است، کشاورزان به‌منظور افزایش عملکرد محصول، معمولاً مقادیر زیادی کود دامی معمولی مصرف می‌کنند که این امر نیز با توجه به موارد ذکرشده، منجر به آزاد شدن مقادیر قابل‌توجهی آمونیاک می‌شود (Kiba, & Krapp, 2016). ازاین‌رو، برای مقابله با معایب کودهای معمولی، کودهای آهسته‌رهش به‌عنوان یک منبع پایدار و قابل‌اطمینان نیتروژن به‌طور هدفمند طراحی شده و توجه جهانی را به خود جلب کرده‌اند (Wang *et al*., 2022). کودهای آهسته‌رهش در مقایسه با کودهای معمولی، دارای نرخ پایینی در رهاسازی مواد مغذی و تأخیر در دسترس بودن مواد مغذی نیتروژن و درنتیجه کاهش اتلاف مواد مغذی در محیط‌زیست هستند (Zhao *et al*., 2023). علاوه‌براین، تولید شکر و مصرف آن در فرمول تهیه آب‌میوه انار از دیگر عوامل انتشار بخار آمونیاک است که سهم اثر آن در هزینه‌های زیست‌محیطی ۳۲٪ می‌باشد. بر اساس شکل ۶ تأثیرگذارترین نهاده‌ها در افزایش انتشار گازهای نیتروژن اکسید، گوگرد دی‌اکسید و ذرات معلق در تولید آب‌میوه انار، نهاده‌های کنسانتره سیب، الکتریسیته و گاز طبیعی استفاده‌شده در فرآیند است. لازم به ذکر است کنسانتره سیب، به دلیل رنگ و طعم خنثی‌ای که دارد، به‌عنوان شیرین‌کننده و کاهش میزان ترشی انار، در فرمول تهیه آب‌میوه انار مورد استفاده قرار می‌گیرد. جهت کاهش اثر گاز طبیعی و الکتریسیته مصرفی در نشر گازهای آلوده‌کننده، همان‌طور که ذکر شد، می‌توان از منابع انرژی تجدیدپذیر و کم‌کربن استفاده کرد. به‌عنوان‌مثال، می‌توان بیوگاز حاصل از زیست‌توده را به‌عنوان یک انرژی ارزشمند تجدیدشدنی جایگزین گاز طبیعی حاصل از منابع فسیلی کرد (Nandi, Ahmed, & Khurpade, 2023). در این راستا، پژوهش‌های مختلف نشان دادند که بخش قابل‌توجهی از تقاضای گاز طبیعی صنعتی می‌تواند از طریق هضم بی‌هوازی پسماندها تأمین شود (O'Shea *et al*., 2020). بیوگاز تولیدشده از باقی‌مانده‌های صنایع، علاوه بر بهبود بهره‌وری منابع، مصرف سوخت‌های فسیلی را کاهش می‌دهد (de Jesús Vargas-Soplín, Prochnow, Herrmann, Tscheuschner, & Kreidenweis, 2022). به‌عبارتی، بیوگاز می‌تواند برای تولید برق و گرما در واحدهای تولیدی یا برای تغذیه شبکه‌های گاز محلی به‌عنوان جایگزین گاز طبیعی تولیدشده توسط صنعت سوخت فسیلی استفاده شود (Korberg, Skov, & Mathiesen, 2020). علاوه‌براین، طبق نتایج به‌دست‌آمده، سهم انار مصرفی در تهیه فرمول آب‌میوه انار برای انتشار ترکیبات آلی فرار ۱۰۰٪ می‌باشد. به‌طوری‌که نشر ترکیبات آلی فرار به دلیل احتراق سوخت‌های فسیلی مصرف‌شده توسط موتورها می‌باشد. با توجه به تحلیل سیاهه موجود، نتایج نشان داد که مصرف بنزین توسط تجهیزات کشاورزی در باغ تولید انار، عامل اصلی انتشار ترکیبات آلی فرار بوده است. ذکر این نکته دارای ارزش است که نتایج به‌دست‌آمده از بررسی گازهای آلوده‌کننده هوا، رد پای منابع فسیلی را در ایجاد این آلودگی‌ها اثبات می‌کند که همین امر باعث افزایش پیامدهای زیست‌محیطی نامطلوب و درنتیجه افزایش هزینه‌های خسارت به هوا می‌شود.



شکل ٦– سهم تأثیر هرکدام از نهاده‌های مصرفی در انتشار گازهای آلوده‌کننده هوا (واحد عملکردی: یک پاکت آب‌میوه انار ۱۶۰ گرمی)

Fig.6. Contribution of each of the inputs in the emission to air polluting gases (FU: A pomegranate juice pack of 160 g)

به‌طورکلی، یکی از تأثیرگذارترین منابع بر ایجاد آلودگی هوا مصرف سوخت‌های فسیلی در طی فرآیند تولید محصول است که در مراحل و به شیوه‌های مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند. همین امر منجر به افزایش هزینه‌های ناشی از اثرهای زیست‌محیطی تولید می‌شود. این درحالی است که نقش آلودگی هوا در آسیب به سلامتی انسان و زیست‌بوم به‌قدری زیاد است که در حال حاضر یکی از هر هشت مورد مرگ در سراسر جهان محسوب می‌شود (Li, Hussain, Sobri, & Md Said, 2021). اجرای اقدامات معقول ازجمله کنترل انتشار آلاینده‌های اسیدی و ترویج انرژی پاک برای کاهش نشر بارهای زیست‌محیطی، می‌توان به‌طور مؤثر هزینه‌های زیست‌محیطی را کاهش داد (Zhang *et al.*, 2023).

هزینه‌های پیش‌گیرانه زیست‌محیطی

برای محاسبه هزینه پیش‌گیرانه زیست‌محیطی تولید آب‌میوه انار به‌ازای واحد عملکردی، هفت رده اثر ذکرشده در فوق مورد ارزیابی قرار گرفتند و نتایج مربوط به ارزیابی هرکدام از رده‌های اثر و هزینه‌های پیش‌گیرانه زیست‌محیطی مربوط به آن‌ها در جدول ۵ ارائه شده است.

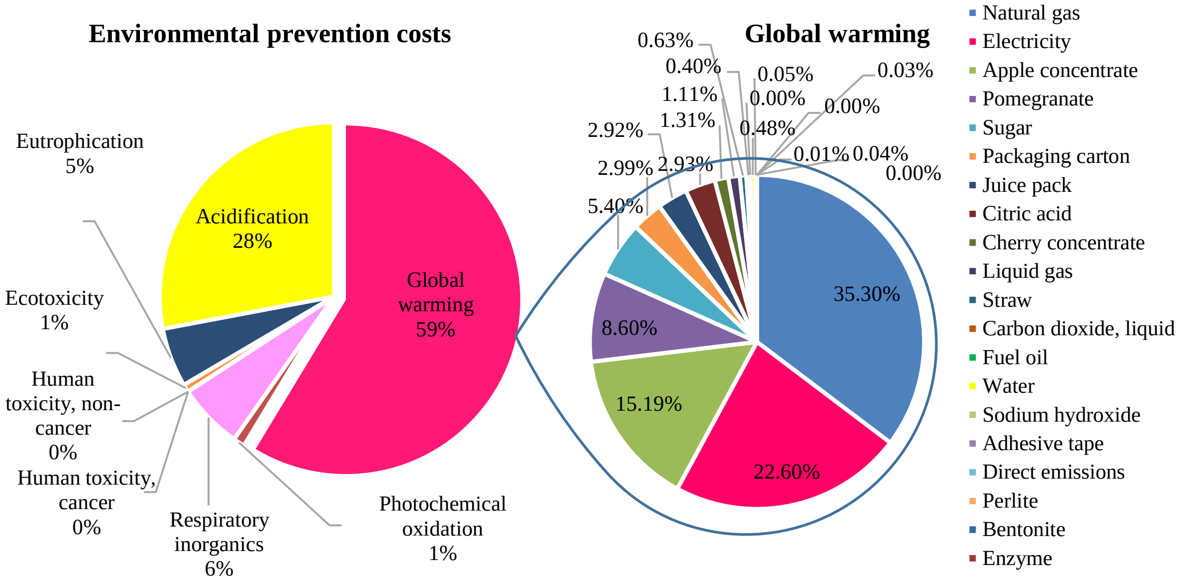
جدول ۵- مقادیر رده‌های اثر مورد ارزیابی و هزینه‌های پیش‌گیرانه زیست‌محیطی (واحد عملکردی: یک پاکت آب‌میوه انار ۱۶۰ گرمی)

Table 5- Values of impact categories and environmental prevention costs (FU: A pomegranate juice pack of 160 g)

رده اثر میانی **Mid-point category**	واحد **Unit**	مقدار **Quantity**	هزینه پیش‌گیرانه (دلار) **Prevention costs ($)**
گرمایش جهانی Global warming	kg CO_2 eq	0.12	0.0154
تشکیل اکسیداسیون فتوشیمیایی (مه دود تابستانی) Photochemical oxidation	kg NO eq	2.84E-05	2.83E-04
ریز گردوغبار Respiratory inorganics	kg PM2.5 eq	4.15E-05	1.60E-03
سمیت انسان- سرطان Human toxicity, cancer	CTUh	7.81E-12	3.22E-08
سمیت انسان- غیر سرطانی Human toxicity, non-cancer	CTUh	8.12E-11	2.28E-06
سمیت زیست‌محیطی Ecotoxicity	CTUe	0.09	1.88E-04
یوتریفیکاسیون (اختناق دریاچه‌ای) Eutrophication	kg PO_4 eq	2.79E-04	1.44E-03
اسیدی شدن Acidification	kg SO_2 eq	7.64E-04	7.35E-03

بنابر نتایج درج‌شده در جدول ۵، میزان هزینه‌های پیش‌گیرانه‌ای که باید برای هرکدام از رده‌های اثر پرداخت شود بین $۲/۳۱\times۱۰^{-۶}$ دلار (برای جمع سمیت انسان) و $۱/۵۴\times۱۰^{-۲}$ دلار (برای گرمایش جهانی) متغیر است. به‌طوری‌که بیش‌ترین سهم در هزینه پیش‌گیرانه زیست‌محیطی برای تولید آب‌میوه انار مربوط به رده اثر گرمایش جهانی با درصد سهم ۵۹٪ است (شکل ۷). این بدان معنی است که بیش‌ترین هزینه پیش‌گیرانه باید صرف استفاده از روش‌هایی شود که منجر به کاهش آلایندگی ناشی از کربن دی‌اکسید می‌شود. علاوه‌براین، همان‌طور که در شکل ۷ قابل‌مشاهده است، منشأ اصلی ایجاد کربن دی‌اکسید و درنتیجه گرمایش جهانی، مصرف گاز و الکتریسیته در فرآیند تولید آب‌میوه انار است؛ بنابراین، بایستی مقدار معینی هزینه صرف اقداماتی شود که باعث کنترل و خنثی‌سازی آلایندگی‌های ایجادشده می‌شود. به عنوان مثال، در مناطقی که امکان رشد درختان مقاوم به خشکی و کم‌نیاز به آب وجود دارد، می‌توان بخشی از این هزینه‌ها را صرف درخت‌کاری در جهت خنثی کردن میزان کربن دی‌اکسید تولیدشده در اثر تولید آب‌میوه کرد. در مثالی دیگر، با توجه به موقعیت خوب کشور ایران از نظر دریافت انرژی خورشیدی، این هزینه‌ها می‌تواند صرف احداث نیروگاه خورشیدی و پنل‌های خورشیدی در جهت تولید انرژی تجدیدپذیر و در نتیجه کاهش کربن دی‌اکسید شود. علاوه‌براین، جهت کاهش تأثیر کربن دی‌اکسید تولیدشده می‌توان هزینه‌ای را صرف فناوری‌های جدید در جهت تولید برق یا بیوگاز از پسماند باقی‌مانده پس از فرآیند تولید آب‌میوه کرد که این روش در حال حاضر یکی از مورد توجه‌ترین گزینه برای جایگزین شدن به‌جای سوخت‌های فسیلی است (Nandi *et al.*, 2023).

بنابر شکل ۷، سهم هزینه‌های پیش‌گیرانه زیست‌محیطی برای رده اثر اسیدی‌شدن به‌ازای هر واحد عملکردی، ۲۸٪ از هزینه کل پیش‌گیرانه را شامل می‌شود. این رده اثر که بر اساس کیلوگرم گوگرد دی‌اکسید معادل محاسبه می‌شود، میزان هزینه‌ای که به‌عنوان هزینه پیش‌گیرانه برآوردشده باید در راستای برنامه‌هایی صورت گیرد که منجر به کاهش آن گازهای آلوده‌کننده شود درحالی‌که گوگرد دی‌اکسید به دلیل سمیت آن شناخته شده است، اقدامات متقابل مؤثر متعددی برای کاهش خطرات آن برای محیط‌زیست ابداع شده است. به‌طور خاص، یکی از روش‌های پیشنهادشده، روش کاهش کاتالیزوری، به دلیل پتانسیل آن در تبدیل گوگرد دی‌اکسید به محصول بی‌ضرر و درعین‌حال قابل‌فروش مانند گوگرد، است که این کار به‌نوبه خود از محیط‌زیست در برابر آلودگی آن گاز سمی محافظت می‌کند (Ng, Lai, Jamaludin, & Mohamed, 2022). علاوه‌براین، نهاده‌های مصرفی انار، الکتریسیته، کنسانتره سیب، گاز و شکر در فرآیند تولید آب‌میوه انار به‌ترتیب بیش‌ترین سهم را بر رده اثر اسیدی‌شدن دارند، این بدان معنی است که اکثر هزینه‌های پیش‌گیرانه محاسبه‌شده برای این رده اثر، باید جهت کاهش خسارت ناشی از این موارد صرف شود.



شکل ۷– سهم هر یک از رده‌های اثر در هزینه پیش‌گیرانه زیست‌محیطی تولید آب‌میوه انار و عوامل مؤثر بر گرمایش جهانی (واحد عملکردی: یک پاکت آب‌میوه انار ۱۶۰ گرمی)

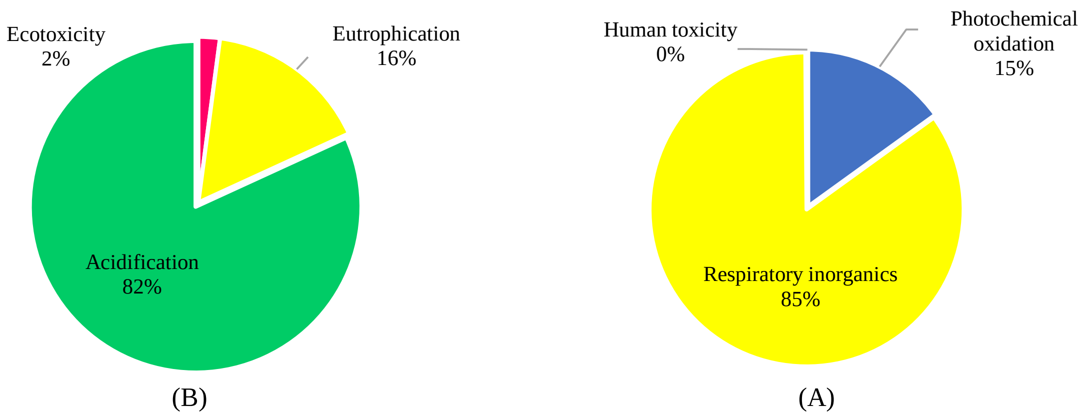
Fig.7. Contribution of each of the impact categories to the environmental prevention costs of pomegranate juice production and the factors affecting the global warming (FU: A pomegranate juice pack of 160 g)

همان‌طور که ذکر شد هرکدام از رده‌های اثر میانی در نظر گرفته‌شده برای برآورد هزینه‌های پیش‌گیرانه را می‌توان در سه رده پایانی تغییر اقلیم، سلامتی انسان و زیست‌بوم دسته‌بندی کرد. باتوجه به جدول ۶ میزان هزینه‌های پیش‌گیرانه زیست‌محیطی با استفاده از رویکرد چرخه زندگی برای سلامت انسان برابر ۰/۰۰۲ دلار به‌ازای تولید ۱۶۰ گرم آب‌میوه انار است. این در حالی است که هزینه پیش‌گیرانه رده اثر ریز گردوغبار بیش‌ترین سهم را در پیش‌گیری از خسارت به سلامتی انسان دارد (شکل ۸، الف). با بررسی نتایج به‌دست‌آمده، بیش‌ترین سهم تأثیر در افزایش ریز گردوغبار را به‌ترتیب نهاده‌های کنسانتره سیب، گاز و الکتریسیته مصرفی با سهم ۳۴٪، ۲۸٪ و ۱۶٪ در فرآیند تولید آب‌میوه انار دارند؛ بنابراین می‌توان گفت که بیش‌تر هزینه‌های پیش‌گیری در این رده اثر باید برای این موارد صرف شود. به‌طوری‌که این هزینه‌ها بایستی صرف خدمات مرتبط با سلامت انسان و همچنین روش‌هایی شود که منجر به کاهش ذرات گردوغبار تولیدشده در اثر تولید آب‌میوه انار می‌شود و در نهایت از آسیب به سلامت انسان جلوگیری شود. همچنین میزان هزینه پیش‌گیرانه محاسبه‌شده برای زیست‌بوم برابر ۰/۰۰۹ دلار به‌ازای هر واحد عملکردی است که از این مقدار بیش‌ترین سهم متعلق به سمیت زیست‌محیطی با درصد ۸۲٪ می‌باشد (شکل ۸، ب). این هزینه باید صرف خدماتی شود که منجر به حفاظت از زیست‌بوم در برابر بحران‌ها و فجایع اقلیمی بیش‌تر می‌شوند. این در حالی است که با صرف هزینه‌های پیش‌گیرانه این‌چنین، این امکان پیش می‌آید که زیست‌بوم در شرایط کنونی باقی مانده و از آلودگی‌های نابودگر در امان بماند. ولی جدای از دو رده اثر ذکرشده، بیش‌ترین هزینه‌های پیش‌گیرانه باید صرف جلوگیری از ایجاد گرمایش جهانی و درنتیجه تغییر اقلیم شود. به‌طوری‌که میزان این هزینه با استفاده از رویکرد چرخه زندگی برابر حدود ۰/۰۱۵ دلار تخمین زده شده است و بیش‌ترین سهم هزینه پیش‌گیرانه (حدود ۶۰٪) را به خود اختصاص داده است. این امر نشان می‌دهد که تولید آب‌میوه انار، از بین رده‌های اثر پایانی، بیش‌ترین تأثیر را بر گرم شدن کره زمین دارد و هزینه‌های صرف‌شده اغلب باید در راستای تقلیل و جلوگیری از نشر کربن دی‌اکسید به جو باشد. به‌طور مشابه، در تحقیقی که برای ارزیابی هزینه‌های ناشی از اثرهای زیست‌محیطی انجام شده است، از دسته‌های اثر ارزیابی‌شده، رده اثر گرمایش جهانی بیش‌ترین سهم را در هزینه‌های زیست‌محیطی دارا بود (Landgraf *et al.*, 2022).

جدول ٦– هزینه‌های پیش‌گیرانه زیست‌محیطی برای رده‌های اثر پایانی (واحد عملکردی: یک پاکت آب‌میوه انار ۱۶۰ گرمی)

Table 6- Environmental prevention costs of end-point categories (FU: A pomegranate juice pack of 160 g)

رده پایانی **End-point category**	**هزینه پیش‌گیرانه زیست‌محیطی (دلار)** **Environmental prevention costs ($)**
تغییر اقلیم Climate change	0.002
سلامت انسان Human health	0.009
زیست‌بوم Ecosystem	0.015
جمع کل	0.026



شکل ۸– سهم هر یک از رده‌های اثر در هزینه پیش‌گیرانه زیست‌محیطی برای سلامتی انسان (الف) و هزینه پیش‌گیرانه زیست‌محیطی برای زیست‌بوم (ب)، (واحد عملکردی: یک پاکت آب‌میوه انار ۱۶۰ گرمی)

Fig.8. Contribution of each impact category to the environmental prevention cost for human health (A), and the environmental prevention cost for the ecosystem (B), (FU: A pomegranate juice pack of 160 g)

درنهایت میزان هزینه‌های پیش‌گیرانه زیست‌محیطی کل برای تولید آب‌میوه انار با استفاده از رویکرد چرخه زندگی طبق جدول ۶ برابر ۰/۰۲۶ دلار تخمین زده شد. این هزینه‌ها باید در راستای خنثی کردن آلودگی زیست‌محیطی ایجادشده در اثر تولید آب‌میوه انار در منطقه صرف شود. بااین‌حال، این‌که این هزینه‌های برآوردشده در چه قسمت و چه زمینه‌ای باید صرف شود، جای بحث دارد. به‌عنوان‌مثال، در تحقیقی که به‌منظور تعیین هزینه‌های زیست‌محیطی پروژه‌های معدنی انجام شده است، نتایج حاکی از آن بود که بیش‌تر هزینه‌ها باید برای جلوگیری، کاهش و جبران اثرهای زیست‌محیطی ناشی از فعالیت‌های روباز در معدن صرف شود (Badakhshan *et al.*, 2023).

همان‌طور که ذکر شد، استفاده از سوخت‌های فسیلی جهت تأمین انرژی برای فرآیند تولید آب‌میوه و یا در دیگر بخش‌ها مانند استفاده به‌عنوان سوخت تجهیزات و ماشین‌ها بیش‌ترین سهم را در ایجاد آلودگی به محیط‌زیست دارند. یکی از کاربردی‌ترین روش‌ها برای پیش‌گیری از ایجاد این آلایندگی‌ها استفاده از منابع جایگزین است. در این میان، یکی از گزینه‌های پیشنهادی می‌تواند استفاده از سوخت‌های زیستی به‌عنوان جایگزینی برای منابع انرژی متعارف فسیلی باشد. بدان معنی که به‌جای استفاده از منابع فسیلی و مشتقات نفتی جهت تولید انرژی، از زیست‌توده و پسماند باقی‌مانده از کشاورزی و صنایع غذایی استفاده شود (Hosseinzadeh-Bandbafha, Aghbashlo, & Tabatabaei, 2021). در این‌جا، اضافه کردن این نکته دارای ارزش است که مقدار قابل‌توجهی پسماند انار، شامل پوست و دانه، پس از فرآوری آب‌میوه باقی می‌ماند و هیچ استفاده‌ای از آن در کارخانه‌های تولید آب‌میوه نمی‌شود و این مواد صرفاً جهت دفع از محیط کارخانه، به دامپروری‌ها ارسال شده یا در برخی موارد در محیط بیرون از کارخانه رها می‌شود. این در حالی است که این ضایعات دارای محتوای ارزشمندی است که می‌تواند جهت تولید انواع محصولات زیستی با ارزش افزوده بالا و انرژی زیستی استفاده شود. با این کار نه‌تنها از دفع این پسماند جلوگیری

می‌شود، بلکه مزایای اقتصادی و همین‌طور زیست‌محیطی ازنظر جلوگیری از ایجاد بارهای آلوده‌کننده را نیز به همراه خواهد داشت. علاوه‌براین، با توجه به این‌که یکی مهم‌ترین هدف سازمان محیطزیست جهانی کاهش نشر کربن و درنتیجه رسیدن به سامانه پایدار ازنظر زیست‌محیطی است، با تولید سوخت‌های زیستی از پسماند، می‌توان مقدار آلودگی‌های ایجادشده در اثر مصرف سوخت‌های متداول را کاهش داد و درنهایت قدم بزرگی در جهت حرکت به سمت اقتصاد زیست‌چرخشی و توسعه پایدار برداشت. بنابراین، هزینه‌های پیش‌گیرانه زیست‌محیطی می‌تواند برای زیرساخت‌های فناوری‌های جدید جهت تولید انرژی زیستی و دیگر محصولات زیستی دارای ارزش‌افزوده از پسماند باقی‌مانده از فرآیند تولید آب‌میوه استفاده شود. شایان ذکر است که در محاسبه میزان اثرهای زیست‌محیطی با استفاده از نرم‌افزار سیماپرو، با توجه به استفاده از داده‌های پایگاه داده اکواینونت و محدودیت در دسترسی به داده‌های کاملا واقعی، نتایج ممکن است کمی با عدم قطعیت همراه باشد.

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، میزان هزینه‌های ناشی از اثرهای زیست‌محیطی ایجادشده شامل هزینه‌های نشر کربن، هزینه‌های خسارت آلودگی هوا و هزینه‌های پیش‌گیرانه، در اثر تولید آب‌میوه انار در شهر مشهد و در شرکت سامان بازار رضوی به‌ازای واحد عملکردی آب‌میوه پاکتی ۱۶۰ گرمی مورد بررسی قرار گرفت. این مطالعه مزایای استفاده از رویکرد چرخه زندگی و ارزیابی کمی اثرهای زیست‌محیطی و در نتیجه هزینه‌های ناشی از این اثرها را در طول توسعه محصول نشان می‌دهد. با بررسی مهم‌ترین عوامل مؤثر بر ایجاد بارهای زیست‌محیطی، نتایج نشان داد که تأثیرگذارترین نهاده‌ها، گاز طبیعی و الکتریسیته مصرفی در تولید آب‌میوه بودند و در نتیجه، میزان هزینه‌های ناشی از بارهای این نهاده‌ها بیش‌ترین سهم را در هزینه‌های تحمیل‌شده به جامعه داشتند. در این راستا، این مطالعه پیشنهاد داد که با صرف هزینه‌هایی برای زیرساخت‌های فناوری‌های جدید جهت تولید سوخت‌های زیستی از پسماند، می‌توان مقدار آلودگی‌های ایجادشده در اثر مصرف سوخت‌های متداول را کاهش داد و درنهایت قدم بزرگی در جهت حرکت به سمت توسعه پایدار برداشت.

سپاسگزاری

نویسندگان از دانشگاه فردوسی مشهد بابت تامین مالی (کد طرح: ۵۴۱۸۹) این پژوهش تشکر می‌کنند.

مشارکت نویسندگان

لیلا بهروزنیا: جمع‌آوری داده‌ها، روش‌شناسی، پردازش داده‌ها، نرم‌افزار و استخراج و تهیه متن اولیه
مهدی خجسته‌پور: نظارت و مدیریت، اعتبارسنجی و ویرایش متن
هما حسین‌زاده بندبافها: نظارت و مدیریت، اعتبارسنجی و ویرایش متن

References

1. Awuni, S., Adarkwah, F., Ofori, B. D., Purwestri, R. C., Huertas Bernal, D. C., & Hajek, M. (2023). Managing the challenges of climate change mitigation and adaptation strategies in Ghana. *Heliyon*, *9*(5), e15491. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15491
2. Badakhshan, N., Shahriar, K., Afraei, S., & Bakhtavar, E. (2023). Determining the environmental costs of mining projects: A comprehensive quantitative assessment. *Resources Policy*, *82*, 103561. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.103561
3. Behrooznia, L., Sharifi, M., Mousavi-Avval, S. H., Hosseinzadeh-Bandbafha, H. (2019). Estimation of energy consumption and environmental ECO-costs of compost production from municipal solid waste in Rasht. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, *50*(1), 43-55. https://dorl.net/dor/20.1001.1.20084803.1398.50.1.4.6
4. Chang, F., Fabian-Wheeler, E., Richard, T. L., & Hile, M. (2023). Compaction effects on greenhouse gas and ammonia emissions from solid dairy manure. *Journal of Environmental Management*, *332*, 117399. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117399
5. Chen, C., Pinar, M., & Stengos, T. (2022). Renewable energy and CO_2 emissions: New evidence with the panel threshold model. *Renewable Energy*, *194*, 117-128. https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.05.095
6. Čuček, L., Klemeš, J. J., & Kravanja, Z. (2015). Chapter 5- Overview of environmental footprints. In J. J. Klemeš (Ed.), Assessing and Measuring Environmental Impact and Sustainability (pp. 131–193). Oxford: Butterworth-Heinemann. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-799968-5.00005-1
7. de Jesús Vargas-Soplín, A., Prochnow, A., Herrmann, C., Tscheuschner, B., & Kreidenweis, U. (2022). The potential for biogas production from autumn tree leaves to supply energy and reduce greenhouse gas emissions– A case study from the city of Berlin. *Resources, Conservation and Recycling*, *187*, 106598. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106598
8. Defra. (2019). Air quality damage cost guidance. Department of Environment, Food and Rural Affairs (Defra), London.

9. Dilling, L., Doney, S. C., Edmonds, J., Gurney, K. R., Harriss, R., Schimel, D., Stephens, B., & Stokes, G. (2003). The role of carbon cycle observations and knowledge in carbon management. *Annual Review of Environment and Resources*, *28*(1), 521-558. https://doi.org/10.1146/annurev.energy.28.011503.163443
10. Ecocostsvalue. (2022). www.ecocostsvalue.com
11. El Barnossi, A., Moussaid, F., & Iraqi Housseini, A. (2021). Tangerine, banana and pomegranate peels valorisation for sustainable environment: A review. *Biotechnology Reports*, *29*, e00574. https://doi.org/10.1016/j.btre.2020.e00574
12. Esmaeilpour Troujeni, M., Emadi, B., Khojastehpour, & M., Vahedi, A. (2014). *Analysis of energy flow in pomegranate fruit production- case study: Behshahr city*. The first national conference on new and clean energy management. Hamadan. https://civilica.com/doc/307957
13. Fathollahi, H., Mousavi-Avval, S. H., Akram, A., & Rafiee, S. (2018). Comparative energy, economic and environmental analyses of forage production systems for dairy farming. *Journal of Cleaner Production*, *182*, 852-862. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.073
14. Ghasemi-Mobtaker, H., Kaab, A., & Rafiee, S. (2020). Application of life cycle analysis to assess environmental sustainability of wheat cultivation in the west of Iran. *Energy*, *193*, 116768. https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116768
15. Gigliotti, M., Schmidt-Traub, G., & Bastianoni, S. (2019). The Sustainable Development Goals. In B. Fath (Ed.), Encyclopedia of Ecology (Second Edition) (Second Edi, pp. 426-431). Oxford: Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.10986-8
16. Hosseinzadeh-Bandbafha, H., Aghbashlo, M., & Tabatabaei, M. (2021). Life cycle assessment of bioenergy product systems: a critical review. E-Prime, 100015. https://doi.org/10.1016/j.prime.2021.100015
17. IPCC. (2006). IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Institute for Global Environmental Strategies, Hayama, Kanagawa, Japan.
18. ISO. (2006). 14040 International standard. Environmental Management–Life Cycle Assessment–Principles and Framework, International Organisation for Standardization, Geneva, Switzerland.
19. Khanali, M., Kokei, D., Aghbashlo, M., Nasab, F. K., Hosseinzadeh-Bandbafha, H., & Tabatabaei, M. (2020). Energy flow modeling and life cycle assessment of apple juice production: Recommendations for renewable energies implementation and climate change mitigation. *Journal of Cleaner Production*, *246*, 118997. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118997
20. Khezri, M., Heshmati, A., & Khodaei, M. (2022). Environmental implications of economic complexity and its role in determining how renewable energies affect CO_2 emissions. *Applied Energy*, *306*, 117948. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117948
21. Kiba, T., & Krapp, A. (2016). Plant Nitrogen Acquisition Under Low Availability: Regulation of Uptake and Root Architecture. *Plant and Cell Physiology*, *57*(4), 707-714. https://doi.org/10.1093/pcp/pcw052
22. Korberg, A. D., Skov, I. R., & Mathiesen, B. V. (2020). The role of biogas and biogas-derived fuels in a 100% renewable energy system in Denmark. *Energy*, *199*, 117426. https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117426
23. Landgraf, M., Zeiner, M., Knabl, D., & Corman, F. (2022). Environmental impacts and associated costs of railway turnouts based on Austrian data. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *103*, 103168. https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.103168
24. Lavoro, A., Falzone, L., Gattuso, G., Salemi, R., Cultrera, G., Leone Marco, G., Scandurra, G., Candido, S., & Libra, M. (2021). Pomegranate: A promising avenue against the most common chronic diseases and their associated risk factors (Review). *International Journal of Functional Nutrition*, *2*(2), 6. https://doi.org/10.3892/ijfn.2021.16
25. Li, H., Xie, S., Zhang, X., Xia, Y., Zhang, Y., & Wang, L. (2021). Mid-pregnancy consumption of fruit, vegetable and fruit juice and the risk of gestational diabetes mellitus: A correlation study. *Clinical Nutrition ESPEN*, *46*, 505-509. https://doi.org/10.1016/j.clnesp.2021.08.033
26. Li, X., Hussain, S. A., Sobri, S., & Md Said, M. S. (2021). Overviewing the air quality models on air pollution in Sichuan Basin, China. *Chemosphere*, *271*, 129502. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129502
27. Longo, S., Mistretta, M., Guarino, F., & Cellura, M. (2017). Life Cycle Assessment of organic and conventional apple supply chains in the North of Italy. *Journal of Cleaner Production*, *140*, 654-663. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.049
28. McIntosh, A., & Pontius, J. (2017). Chapter 1- Tools and Skills. In A. McIntosh & J. Pontius (Eds.), Science and the Global Environment (pp. 1–112). Boston: Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801712-8.00001-9
29. Melgarejo, P., Núñez-Gómez, D., Legua, P., Martínez-Nicolás, J. J., & Almansa, M. S. (2020). Pomegranate (*Punica granatum* L.) a dry pericarp fruit with fleshy seeds. *Trends in Food Science & Technology*, *102*, 232-236. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.02.014
30. Mora, C., Spirandelli, D., Franklin, E. C., Lynham, J., Kantar, M. B., Miles, W., Smith, C. Z., Freel, K., Moy, J., Louis, L. V, Barba, E. W., Bettinger, K., Frazier, A. G., Colburn IX, J. F., Hanasaki, N., Hawkins, E., Hirabayashi, Y., Knorr, W., Little, C. M., …, & Hunter, C. L. (2018). Broad threat to humanity from cumulative climate

hazards intensified by greenhouse gas emissions. *Nature Climate Change*, *8*(12), 1062-1071. https://doi.org/10.1038/s41558-018-0315-6

31. Morales-Mora, M. A., Rosa-Dominguez, E., Suppen-Reynaga, N., & Martinez-Delgadillo, S. A. (2012). Environmental and eco-costs life cycle assessment of an acrylonitrile process by capacity enlargement in Mexico. *Process Safety and Environmental Protection*, *90*(1), 27-37. https://doi.org/10.1016/j.psep.2011.10.002
32. Nandi, S., Ahmed, S., & Khurpade, P. D. (2023). Chapter 5- Anaerobic digestion of fruit and vegetable waste for biogas and other biofuels. In S. A. Mandavgane, I. Chakravarty, & A. K. Jaiswal (Eds.), Fruit and Vegetable Waste Utilization and Sustainability (pp. 101–119). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91743-8.00007-1
33. Nemecek, T., & Kagi, T. (2007). Life cycle inventories of agricultural production systems. Final report ecoinvent v2. 0 No. 15. Swiss center for life cycle inventories, Dübendorf, Switzerland.
34. Ng, K. H., Lai, S. Y., Jamaludin, N. F. M., & Mohamed, A. R. (2022). A review on dry-based and wet-based catalytic sulphur dioxide (SO_2) reduction technologies. *Journal of Hazardous Materials*, *423*, 127061. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127061
35. O’Shea, R., Lin, R., Wall, D. M., Browne, J. D., & Murphy, J. D. (2020). Using biogas to reduce natural gas consumption and greenhouse gas emissions at a large distillery. *Applied Energy*, *279*, 115812. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115812
36. Papong, S., Rewlay-ngoen, C., Itsubo, N., & Malakul, P. (2017). Environmental life cycle assessment and social impacts of bioethanol production in Thailand. *Journal of Cleaner Production*, *157*, 254-266. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.04.122
37. Pinto, E. P., Perin, E. C., Schott, I. B., Düsman, E., da Silva Rodrigues, R., Lucchetta, L., Manfroi, V., & Rombaldi, C. V. (2022). Phenolic compounds are dependent on cultivation conditions in face of UV-C radiation in ‘Concord’ grape juices (Vitis labrusca). *LWT*, *154*, 112681. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112681
38. Rahil, A., Gammon, R., Brown, N., Udie, J., & Mazhar, M. U. (2019). Potential economic benefits of carbon dioxide (CO_2) reduction due to renewable energy and electrolytic hydrogen fuel deployment under current and long term forecasting of the Social Carbon Cost (SCC). *Energy Reports*, *5*, 602-618. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2019.05.003
39. Rennert, K., Errickson, F., Prest, B. C., Rennels, L., Newell, R. G., Pizer, W., Kingdon, C., Wingenroth, J., Cooke, R., Parthum, B., Smith, D., Cromar, K., Diaz, D., Moore, F. C., Müller, U. K., Plevin, R. J., Raftery, A. E., Ševčíková, H., Sheets, H., …, & Anthoff, D. (2022). Comprehensive evidence implies a higher social cost of CO2. *Nature*, *610*(7933), 687-692. https://doi.org/10.1038/s41586-022-05224-9
40. Singh, N. V., Parashuram, S., Sharma, J., Potlannagari, R. S., Karuppannan, D. B., Pal, R. K., Patil, P., Mundewadikar, D. M., Sangnure, V. R., Parvati Sai Arun, P. V, Mutha, N. V. R., Kumar, B., Tripathi, A., Peddamma, S. K., Kothandaraman, H., Yellaboina, S., Baghel, D. S., & Reddy, U. K. (2020). Comparative transcriptome profiling of pomegranate genotypes having resistance and susceptible reaction to Xanthomonas axonopodis pv. punicae. *Saudi Journal of Biological Sciences*. https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.07.023
41. SMAJ. (2023). Statistics of Ministry of Agriculture Jahad, Iran.
42. Staudt, A., Huddleston, N., & Kraucunas, I. (2008). Understanding and Responding to Climate Change: Highlights of National Academies Reports. https://www.preventionweb.net/quick/3915
43. Talekar, S., Patti, A. F., Vijayraghavan, R., & Arora, A. (2018). An integrated green biorefinery approach towards simultaneous recovery of pectin and polyphenols coupled with bioethanol production from waste pomegranate peels. *Bioresource Technology*, *266*, 322-334. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.06.072
44. Vogtlander, J. (2010). *LCA-based assessment of sustainability: the Eco-costs/Value Ratio EVR*.
45. Vogtländer, J. G., Bijma, A., & Brezet, H. C. (2002). Communicating the eco-efficiency of products and services by means of the eco-costs/value model. *Journal of Cleaner Production*, *10*(1), 57-67. https://doi.org/10.1016/S0959-6526(01)00013-0
46. Wang, C., Luo, D., Zhang, X., Huang, R., Cao, Y., Liu, G., Zhang, Y., & Wang, H. (2022). Biochar-based slow-release of fertilizers for sustainable agriculture: A mini review. *Environmental Science and Ecotechnology*, *10*, 100167. https://doi.org/10.1016/j.ese.2022.100167
47. Zarei, M. J., Kazemi, N., & Marzban, A. (2019). Life cycle environmental impacts of cucumber and tomato production in open-field and greenhouse. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, *18*(3), 249-255. https://doi.org/10.1016/j.jssas.2017.07.001
48. Zhang, Q., Zhu, J., Mulder, J., Wang, Q., Liu, C., & He, N. (2023). High environmental costs behind rapid economic development: Evidence from economic loss caused by atmospheric acid deposition. *Journal of Environmental Management*, *334*, 117511. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117511
49. Zhao, S., Deng, K., Zhu, Y., Jiang, T., Wu, P., Feng, K., & Li, L. (2023). Optimization of slow-release fertilizer application improves lotus rhizome quality by affecting the physicochemical properties of starch. *Journal of Integrative Agriculture*, *22*(4), 1045-1057. https://doi.org/10.1016/j.jia.2023.01.005